



539  
3

# ইউরেনিয়ামের ওপারে

( বিক্রমেশ ও ইউরেনিয়ামোত্তর মৌল )

[ THE TRANS-URANIUM ELEMENTS ]

অনিল কুমার দে, পি-এইচ. ডি.,  
রসায়ন বিভাগের অধ্যাপক, বিশ্বভারতী ;  
প্রাক্তন অধ্যাপক, বাদবপুর বিশ্ববিদ্যালয়

WEST BENGAL UNIVERSITY LIBRARY
Acc. No. 845.7
Dated 7.12.2000
Call No. 539/3
Price / Page Rs. 7/-

পশ্চিমবঙ্গ রাজ্য প্রজ্ঞাপন পর্ষদ

URANIUMER OPARE  
BY ANIL KUMAR DE  
WEST BENGAL STATE BOOK BOARD

## পশ্চিমবঙ্গ রাজ্য পুস্তক পর্ষদ

প্রকাশক :

পশ্চিমবঙ্গ রাজ্য পুস্তক পর্ষদ  
আর্থ ম্যানসন ( নবম-তল ),  
৬।এ, রাজা সুবোধ মল্লিক স্কোয়ার,  
কলিকাতা-৭০০ ০১০

মুদ্রক :

ত্রিবিদ্যবিশেষ বসু,  
কে. পি. বসু প্রিন্টিং ওয়ার্কস,  
১১, মহেন্দ্র গোস্বামী লেন,  
কলিকাতা-৭০০ ০০৬

প্রথম প্রকাশ :

মে, ১৯৭৮

প্রচ্ছদ-শিল্পী :

শ্রীহেমকেশ ভট্টাচার্য

Published by Prof. Pradyumna Mitra, Chief Executive Officer, West Bengal State Book Board under the Centrally Sponsored Scheme of production of books and literature in regional languages at the University level, of the Government of India in the Ministry of Education and Social Welfare (Department of Culture), New Delhi.

## ভূমিকা

স্নাতকোত্তর পর্যায়ে বাংলা ভাষায় পাঠ্য-পুস্তক রচনার দৃষ্টান্ত বিরল। এই দুরূহ প্রয়াসে অগ্রণী হইয়া বর্তমান পুস্তক পাঠক-সমাজে পরিবেশন করা হইল।

স্নাতকোত্তর অজৈব রসায়নের পাঠ্যক্রমের তিনটি গুরুত্বপূর্ণ অংশ নির্বাচিত করা হইয়াছে—তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ, নিরুদ্দেশ মৌলগুলি এবং ইউরেনিয়ামের মৌলশ্রেণী। শেষোক্ত দুইটি বিষয়বস্তু হৃদয়ঙ্গম করিতে হইলে ইহাদের সহিত অঙ্গাঙ্গিভাবে জড়িত তেজস্ক্রিয় আইসোটোপের বিশদ আলোচনা প্রয়োজন। প্রথম পর্যায়ের মূল অংশ তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ ও নিরুদ্দেশ মৌলগুলি। এই পর্যায়ের প্রথম পরিচ্ছেদ “মৌলের উৎস-সম্বন্ধে” এক নূতন দৃষ্টিভঙ্গিতে পুস্তকটির সমগ্র বিষয়বস্তুর অবতারণা করিয়াছে। দ্বিতীয় পরিচ্ছেদে “তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ” উদাহরণসহ অনুশীলনী ছাত্রছাত্রীদের বিষয়বস্তু গভীরভাবে আয়ত্ত করিতে সহায়তা করিবে। পরিভাষার পরিচ্ছেদটির প্রয়োজনীয়তা অপরিহার্য।

এই পুস্তকে স্নাতকোত্তর স্তরের প্রথম ও দ্বিতীয় বর্ষের অজৈব রসায়নের পাঠ্য-সূচীর তিনটি আধুনিক গুরুত্বপূর্ণ অংশ সংকলিত করা হইল। বিভিন্ন গ্রন্থ ও নিবন্ধ হইতে এই অভূতপূর্ব সংকলনের প্রয়োজনীয়তা অপারিসীম ছাত্রছাত্রীর পক্ষে। বিষয়বস্তু সহজ-বোধ্য করার জন্য উপযোগী চিত্রাবলী সংযোজিত হইয়াছে এবং স্মৃতি ও প্রাজ্ঞতা ভাষা ব্যবহৃত হইয়াছে। চিত্রাবলী মুদ্রণের অনুমতিদানের জন্য আমেরিকা যুক্তরাষ্ট্রের Prentice Hall, Inc., National Science Teachers' Association এবং U. S. Atomic Energy Commission-কে কৃতজ্ঞতা জানাই। বিশ্ববিদ্যালয়ের স্নাতকোত্তর স্তরে গ্রন্থকারের সুদীর্ঘ দুই দশকের অধ্যাপনার অভিজ্ঞতা পুস্তক-রচনার সহায়তা করিয়াছে। এই অভিনব দূঃসাহসিক প্রয়াস কতটা সফল হইয়াছে তাহার বিচারের ভার ছাত্রছাত্রীদের ও সংশ্লিষ্ট অধ্যাপক-মণ্ডলীর উপর।



পুস্তক-রচনার উৎসাহদানের জন্য আন্তরিক ধন্যবাদ জানাই—কলিকাতা বিশ্ববিদ্যালয়ের বিশুদ্ধ রসায়ন বিভাগের অধ্যাপক ডক্টর হরেন্দ্রকুমার সাহাকে, সাহা ইনস্টিটিউটের প্রাক্তন অধ্যাপক ডক্টর ভূপেশ পুরকারস্বকে এবং বিশ্ব-ভারতীর উপাচার্য ডক্টর সুরজিৎ সিংহকে। প্রকাশনার দায়িত্বভার বহনের জন্য পশ্চিমবঙ্গ রাজ্য পুস্তক পর্বদকে কৃতজ্ঞতা জানাই।

বিশ্বভারতী,  
শান্তিনিকেতন }  
মে, ১৯৭৮

অনিল কুমার দে

## সূচীপত্র

পরিচ্ছেদ

পৃষ্ঠা

### প্রথম পর্বান :

১।	মৌলের উৎস-সন্ধান	...	1
২।	তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ —প্রযুক্তি ও প্রয়োগ	...	9
৩।	নিরুদ্দেশ মৌলগুলি	...	41
৪।	পরিভাষা	...	48

### দ্বিতীয় পর্বান :

৫।	পটভূমিকা	...	55
৬।	ইউরেনিয়ামোক্তর মৌলশ্রেণীর আবিষ্কার ও উৎপাদন	...	59
৭।	পরীক্ষা পদ্ধতি ও প্রযুক্তি	...	75
৮।	পর্বান-সারণীতে স্থান	...	89
৯।	ব্যবহারিক প্রয়োগ	...	101
১০।	ভাবী ইউরেনিয়ামোক্তর মৌলগুলি বর্ণানুক্রমিক সচী	...	109 113



**প্রথম পর্ব**

**তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ**

**ও**

**নিরুদ্দেশ মৌল**

**( Radioactive Isotopes  
and  
The Missing Elements )**



## ১। মৌলের উৎস-সন্ধান ( In Quest of the Origin of Elements )

“দেশশূন্য কালশূন্য জ্যোতিঃশূন্য মহাশূন্য’পরি  
চতুর্মুখ করিছেন ধ্যান ।  
সহসা আনন্দসিন্ধু হৃদয়ে উঠিল উথলিয়া,  
আদিদেব খুলিলা নয়ান ।

... ..

আনন্দের আন্দোলনে ঘন ঘন বহে স্বাস,  
অষ্ট নেগ্রে বিক্ষুরিল জ্যোতি ।  
জ্যোতির্ময় জটাজাল কোটিসূর্যপ্রভা বহি  
দিগ্বিদিকে পড়িল ছড়ারে ।”

... ..

পর্যায়-সারণীর (Periodic Table) মৌল পদার্থগুলি কীভাবে উদ্ভূত হইল, পৃথিবীতে কীভাবে স্থান পাইল—এইসব অতি মৌলিক প্রশ্নের সহিত সংশ্লিষ্ট আছে নিখিল বিশ্বের সৃষ্টির রহস্য । আমাদের পৃথিবী হাইড্রোজেন হইতে ইউরেনিয়াম পর্যন্ত (পরমাণু ক্রমাঙ্ক ১ হইতে ৯২) মৌল পদার্থগুলি দ্বারা গঠিত । এই গঠন-রহস্য তথা মূল সৃষ্টির রহস্যের চাবিকাঠির সন্ধান করিতে হইলে বিজ্ঞানীদের সাধনার গতিপথ বাহিয়া আমাদের কল্পনাকে বিস্তৃত করিতে হইবে আজ হইতে ৬৫০ কোটি বছর আগে সৃষ্টির ব্রাহ্মমুহুর্তে ।

বিশ্বকবির কণ্ঠে ধ্বনিত হইয়াছে পুরাণের কাহিনী বাহার সহিত মূলতঃ সাদৃশ্য আছে বাইবেলের তত্ত্বের । এই বিশাল ব্রহ্মাণ্ডের সৃষ্টিকর্তা দেবাদিদেব ব্রহ্মা । সীমাহীন, অন্তহীন মহাশূন্যে ধ্যান-সমাহিত আদিদেব ব্রহ্মার ধ্যাননেত্র উন্মীলিত হওয়ার মুহূর্তটি সৃষ্টির ব্রাহ্মমুহূর্ত । কোটিসূর্যের প্রভা বিচ্ছুরিত করিয়া অগ্নিনির্ঝর শত শত স্রোতে উৎসারিত হইয়া দিকে দিকে সারা বিশ্ব প্রাবিত করিল । সেই অগ্নিময় সৃষ্টি কোটি কোটি বছর পরে শান্ত হইল বিক্ষুব্ধ মঙ্গলময় শশ্বনাঙ্গে—মহাছন্দে বন্দী হইল গ্রহ, উপগ্রহ ইত্যাদি । এই পৌরাণিক কাহিনীর মূল সূরের সঙ্গে বিজ্ঞানসম্মত তথ্যগুলির আশ্চর্যজনক মিল দেখা যায় ।

বেন জনসন (Ben Johnson) 300 বছর আগে “The Alchemist” পুস্তকে মন্তব্য করিয়াছিলেন :

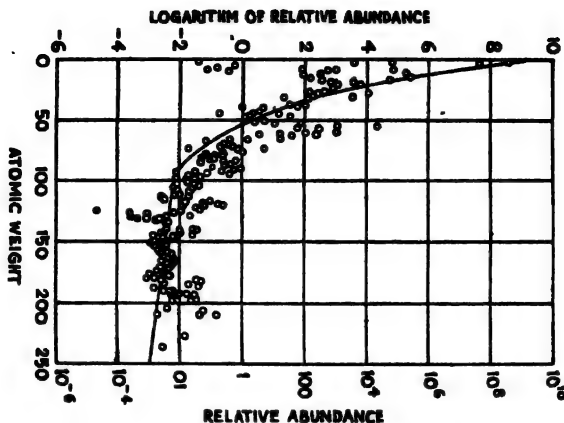
“Ay, for 'twere absurd  
To think that nature in the earth  
bred gold  
Perfect i' the instant : something  
went before  
There must be remote matter.”

এই সুদূর পদার্থ (remote matter) সম্বন্ধে ব্যাপক গবেষণা চলিয়াছে সৃষ্টিতত্ত্ববিজ্ঞানী (cosmologist) ও জ্যোতির্বিজ্ঞানীদের গবেষণাগারে বহু বছর ধরিয়া। আমাদের পৃথিবীতে এবং সৌরমণ্ডলে মৌল পদার্থগুলির আপেক্ষিক প্রাচুর্যের (relative abundance) তথ্যের উপর তাঁহারা গবেষণা কেন্দ্রীভূত করিয়াছেন এবং সৃষ্টিতত্ত্বের উপর আলোকপাত করিয়াছেন। তাঁহারা অমূল্য তথ্য আহরণ করিয়াছেন ভূত্বক, মহাসমুদ্র ও বায়ুমণ্ডলের গঠন-বিশ্লেষণ এবং মহাজাগতিক (outer space) উল্কাপিণ্ড বিশ্লেষণ দ্বারা। তাছাড়া সুদূর নক্ষত্র নীহারিকা হইতে বিকীর্ণ আলোকের বর্ণালী-বিশ্লেষণের দ্বারা উহাদের অভ্যন্তরস্থ মৌলগুলি সনাক্ত করা যায়। এমন কি দূর-দূরান্তের ছায়াপথ বাহিয়া হাইড্রোজেনের কলধ্বনিতে মুখরিত হয় জ্যোতির্বিজ্ঞানীর বস্তু (21 সেন্টিমিটার তরঙ্গদৈর্ঘ্য-বিশিষ্ট বেতার তরঙ্গ)।

## ১.১ মৌলের আপেক্ষিক প্রাচুর্য (Relative abundance)

জাগতিক ও মহাজাগতিক (cosmic) উপকরণ হইতে সারা বিশ্বে মৌলের আপেক্ষিক প্রাচুর্য সম্বন্ধে মোটামুটি নিখুঁত চিত্র উন্মোচিত হইয়াছে (চিত্র 1.1)। সারা বিশ্বের পদার্থগুলির মধ্যে হাইড্রোজেনের আপেক্ষিক প্রাচুর্য সর্বাধিক — মোট পরমাণুসংখ্যার শতকরা 93 ভাগ এবং মোট পদার্থের ওজনের শতকরা 76 ভাগ। ইহার পরেই স্থান হিলিয়ামের—মোট পরমাণুসংখ্যার শতকরা 7 ভাগ এবং মোট ওজনের শতকরা 23 ভাগ। পারমাণবিক গুরুত্ব (Atomic weight) বৃদ্ধির সঙ্গে প্রাচুর্য হ্রাস পাইতে থাকে এবং চিত্রলেখের দ্রুত অবতরণ লক্ষিত হয়। এই অবতরণের প্রবণতার প্রথম আকস্মিক ব্যতিক্রম দেখা যায় লৌহবর্গের (Iron group) মৌলগুলির ক্ষেত্রে। এই মৌলগুলি প্রকৃতিতে পার্শ্ববর্তী মৌলগুলির তুলনায়

10,000 গুণ বেশী পরিমাণে থাকে। প্রসঙ্গতঃ উল্লেখযোগ্য হিলিয়ামের পরবর্তী মৌলগুলির সমষ্টিগত পরিমাণ বিশ্বের ভরের (mass) মাত্র শতকরা 1 ভাগ।

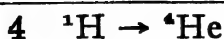
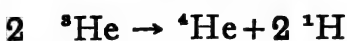
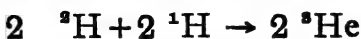
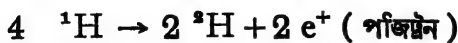


চিত্র 1.1 : মৌলের আপেক্ষিক প্রাচুর্য।

## ১.২ মৌলসৃষ্টির তত্ত্ব

জর্জ গ্যামো (George Gamow), হ্যান্স বেথে (Hans Bethe) ও ফ্রেড হয়েল (Fred Hoyle)-এর তত্ত্ব হইতে মৌলসৃষ্টির একটি সুসমঞ্জস চিত্র পাওয়া যায়।

আধুনিক সৃষ্টিতত্ত্ববিজ্ঞানীদের মতে মৌলগঠন নক্ষত্রপুঞ্জের অভ্যন্তরস্থ অগ্নিপিশুর মধ্যেই হইয়াছিল। পরমাণুবিজ্ঞানীদের দৃঢ় ধারণা যে, নক্ষত্রপুঞ্জের ও সূর্যের তাপশক্তির উৎস হইল কেন্দ্রক বিক্রিয়া (Nuclear reaction) : হাইড্রোজেন হইতে ইহার ভারী আইসোটোপ ও হিলিয়ামের উদ্ভব (প্রোটন—প্রোটন চক্র : proton—proton (p—p) cycle)\* :

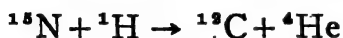
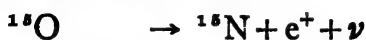
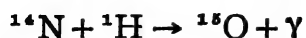
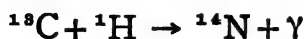
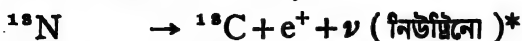
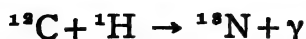


\* এই চক্রে আরও কিছু বিক্রিয়া হয় বলিয়া অনেকের ধারণা





কিংবা কার্বন হইতে নাইট্রোজেনের উদ্ভব ( কার্বন-নাইট্রোজেন চক্র : Carbon-Nitrogen or C—N Cycle ) ।



ইলেকট্রন ভোল্ট শক্তি )

আমাদের সৌরমণ্ডলের সূর্যে যেখানে হিলিয়ামের গাঢ়ত্ব শতকরা 90 ভাগের বেশী, প্রোটন-প্রোটন চক্রই সেখানে সম্ভাব্য বিক্রিয়া ; কার্বন-নাইট্রোজেন চক্র মুখ্য বিক্রিয়া নয় । উভয় চক্রের মূল বিক্রিয়া হাইড্রোজেন হইতে হিলিয়াম কেন্দ্রকের উদ্ভব এবং সঙ্গে প্রচুর শক্তি নির্গত হয় । এই কার্বন-নাইট্রোজেন চক্রের মূল শর্ত—2 কোটি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড তাপ ; চক্র একবার সম্পূর্ণ হইতে 60 লক্ষ বৎসর সময় লাগে ।

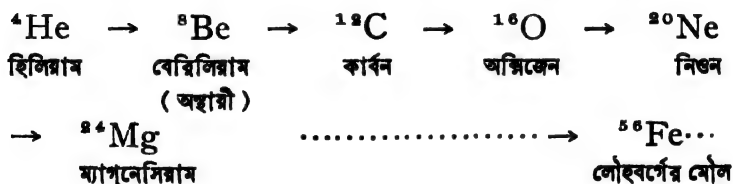
কেন্দ্রক বিক্রিয়া (Nuclear reaction) আবিষ্কারের পর লর্ড রাদারফোর্ড (Lord Rutherford) 1920 সালে ভবিষ্যদ্বাণী করিয়াছিলেন : “What is possible in the Cavendish laboratory may not be too difficult in the Sun” অর্থাৎ ক্যাভেন্ডিশ গবেষণাগারে বাহা সম্ভব, তাহা সৌরদেহে সংঘটিত হওয়া শক্ত নয় ।

আইনস্টাইনের (Einstein) সূত্র :  $E = mc^2$  (  $E$  = শক্তি,  $m$  = পদার্থের ভর,  $c$  = আলোকের গতিবেগ ) অনুযায়ী শক্তিকে পদার্থে এবং পদার্থকে শক্তিতে রূপান্তর করা যায় । সৃষ্টির প্রারম্ভে পদার্থ ছিল শক্তির গর্ভে অর্থাৎ তখন কেবলমাত্র শক্তির আধিপত্য ছিল । সৃষ্টির ব্রাহ্মমূহুর্তে বিশ্বব্রহ্মাণ্ড ছিল একটি কেন্দ্রীয় বিশাল জ্বলন্ত অগ্নিকুণ্ড, বাহার অভ্যন্তরস্থ তাপমাত্রা ছিল প্রায় 50 লক্ষ ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড । এই প্রচণ্ড তাপে পরমাণুর অস্তিত্ব ছিল না ; শুধু ছিল পরমাণু কণাগুলি—প্রোটন (Proton), নিউট্রন

\* পরিভাষা ( চতুর্থ পরিচ্ছেদ ) দ্রষ্টব্য ।

(Neutron) ও ইলেকট্রন (Electron)—যাহাদের গভীর শক্তি (Kinetic energy) প্রায় 10,000 ইলেকট্রন ভোল্ট (সাধারণ তাপে গভীর শক্তি  $10^{-3}$  ইলেকট্রন ভোল্ট)। কেন্দ্রক বিক্রিয়ার এই অনুকূল পরিবেশে প্রোটন-প্রোটন চক্র অন্তর্ভুক্ত হয়। এই চক্রে হিলিয়াম কণার উদ্ভব হয় এবং ক্রমশঃ ইহার গাঢ়ত্ব বর্ধিত হয়। কিছুক্ষণ পরে যখন হাইড্রোজেন জ্বালানীর পরিমাণ ক্ষয় পায়, মূল অগ্নিকুণ্ডের কেন্দ্র শীতল হইতে থাকে এবং ক্রমশঃ সঙ্কুচিত হয়। এই সঙ্কোচনের ফলে মাধ্যাকর্ষণ-জনিত শক্তি (gravitational force) বৃদ্ধি পায় এবং কেন্দ্রের (core) তাপমাত্রা আবার বর্ধিত হয়। বর্হিমণ্ডলের উপরিতল আকস্মিক বৃদ্ধি পায় এবং উহা হইতে তেজবিকিরণের ফলে (লাল আলো) মূল নক্ষত্র বা নীহারিকা একটি “লাল দৈত্য” (Red giant) নামে অভিহিত হয়।

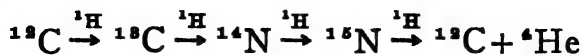
এইবার নক্ষত্র বা নীহারিকা দেহের তাপমাত্রা প্রায় 10 কোটি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড। হিলিয়াম কণাগুলি হইতে সন্মিলন বিক্রিয়ার (Fusion reaction) ধারাবাহিকভাবে স্থায়ী লৌহবর্গের মৌলগুলি পর্যন্ত সৃষ্ট হয়।



বেরিলিয়াম-8 অত্যন্ত ক্ষণস্থায়ী কেন্দ্রক, যাহা গঠিত হওয়ার সঙ্গে সঙ্গে হিলিয়াম কণার সাহিত সন্মিলন-বিক্রিয়ার কার্বন কেন্দ্রকে ( $^{12}\text{C}$ ) পরিণত হয়। প্রকৃতিতে বেরিলিয়াম-8 পাওয়া যায় না; ইহার স্থায়ী আইসোটোপ বেরিলিয়াম-9 আকারিকে (ore) দেখা যায়। হিলিয়াম ও কার্বনের অন্তর্বর্তী মৌল—লিথিয়াম (Lithium), বেরিলিয়াম ও বোরন (Boron) প্রথম পর্যায়ে সৃষ্ট হয় না। ইহারা গৌণ প্রক্রিয়ার উৎপন্ন হয়। দৃষ্টান্ত-স্বরূপ, ভারী মৌলগুলিকে প্রোটন-কণা দ্বারা আক্রমণ করিলে কখনও কখনও লিথিয়াম, বেরিলিয়াম ও বোরন কেন্দ্রক বিক্রিয়াজ-খণ্ড-কেন্দ্রক হিসাবে দেখা যায়। এই প্রক্রিয়া সম্ভবতঃ সৌরদেহে বা নক্ষত্রদেহে সংঘটিত হয়।

দ্বিতীয় পর্যায়ে (তাপমাত্রা 1.5 কোটি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডের বেশী) কার্বন-নাইট্রোজেন চক্রের প্রাধান্য থাকে। কার্বন হইতে প্রোটন সন্মিলন বিক্রিয়ার

নাইট্রোজেন-15 কণা পর্যন্ত সৃষ্ট হয়—ইহা হইতে আবার কার্বন-12 ও হিলিয়াম



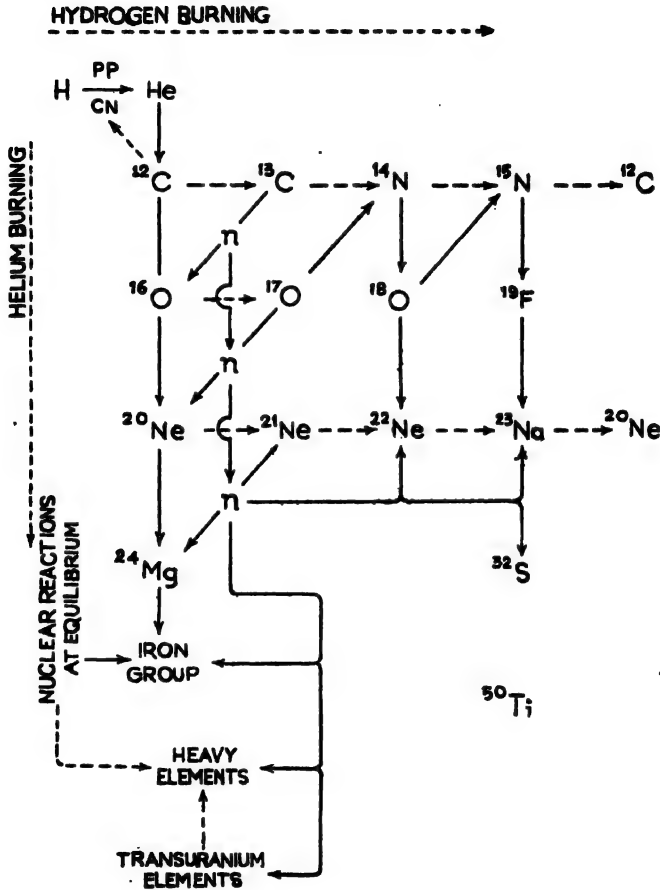
উৎপন্ন হয়। এই পর্যায়ে নাইট্রোজেন ও অক্সিজেনের সমস্ত আইসোটোপ উদ্ভূত হয়।

তৃতীয় পর্যায়ে প্রোটন বিক্রিয়ায় অক্সিজেন হইতে অক্সিজেন-17, নিওন হইতে নিওন-21 সৃষ্ট হয়। এখন অক্সিজেন-17, নিওন-21 ও কার্বন-13 (ষষ্ঠীয় পর্যায়ে উৎপন্ন) হিলিয়ামের সহিত বিক্রিয়ায় অস্থায়ী কেন্দ্রক সৃষ্টি করে, যাহা হইতে প্রচুর নিউট্রন উৎসারিত হয়। এই ধরনের বিক্রিয়া গবেষণাগারে সমাধিত হইয়াছে। এইবার নিউট্রন বিক্রিয়ায় (Neutron capture) লৌহবর্গের মৌলগুলি ধারাবাহিকভাবে ভারী মৌলগুলি—বিসমাখ পর্যন্ত (পরমাণু ক্রমাঙ্ক 83)—উৎপন্ন করে। বিসমাখের পরবর্তী মৌলগুলি তেজস্ক্রিয় এবং অস্থায়ী।

কোনও এক দৈত্যাকার নক্ষত্রের (giant star) বর্ণালী হইতে টেক্‌নিসিয়ামের (মৌল 43) অস্তিত্ব প্রমাণিত হইয়াছে। টেক্‌নিসিয়াম অস্থায়ী তেজস্ক্রিয় মৌল—ইহার সর্বাপেক্ষা দীর্ঘজীবী আইসোটোপের অর্ধায়ুকাল 2 লক্ষ 16 হাজার বছর। কাজেই নক্ষত্রের জন্মের অনেক পরে নিশ্চয়ই এই মৌল উদ্ভূত হইয়াছিল। এমন কি কোনও বিস্ফোরণশীল দৈত্যাকার নক্ষত্রের বর্ণালীতে ক্যালিফোর্নিয়াম-254 (পরমাণু-ক্রমাঙ্ক 98)-এর অস্তিত্বের (অর্ধায়ুকাল 55 দিন) ইঙ্গিত পাওয়া গেছে। প্রসঙ্গতঃ উল্লেখযোগ্য ক্যালিফোর্নিয়ামের আবিষ্কার হইয়াছিল 1952 সালে বিকিনি দ্বীপপুঞ্জে তাপ-কেন্দ্রক বিস্ফোরণের (Thermonuclear explosion) ভস্মরাশি হইতে।

উপরোক্ত মৌলগুলির সৃষ্টি সম্পূর্ণ হইয়াছিল মাত্র 30 মিনিটের মধ্যে। ধারাবাহিক সংকোচন ও প্রসারণের ফলে নক্ষত্রদেহের বিস্ফোরণ ঘটে। প্রচণ্ড বিস্ফোরণের ফলে নক্ষত্র দেহের কিয়দংশ মৌল পদার্থসমেত তীব্রবেগে বিকিষ্ট হইয়া খণ্ড খণ্ড ভাবে মহাশূন্যে ছড়াইয়া পড়িল। এইভাবে সৌর-মণ্ডল ও গ্রহরাজির সৃষ্টি হইল। জ্বলন্ত অগ্নিগোলকের অবস্থা হইতে কোটি কোটি বছর ক্রমাগত তেজ-বিকিরণের পর আমাদের পৃথিবী ধীরে ধীরে শীতল ও শান্ত অবস্থায় আসিল—ক্রমে ভূত্বক, সমুদ্র, বায়ুমণ্ডল ইত্যাদির উদ্ভব হইল।

প্রাচীনতম নীহারিকা হইতে প্রাপ্ত প্রমাণের ভিত্তিতে সৃষ্টিতত্ত্ববিদ্রা অনুমান করেন যে, সৃষ্টির স্বাক্ষরভূত ছিল প্রায় 650 কোটি বছর আগে। তাঁহাদের ধারণা আমাদের সৌরমণ্ডলের বয়স প্রায় 450 কোটি বছর (উল্কাপিণ্ড বিশ্লেষণ দ্বারা প্রাপ্ত প্রমাণ)। তেজস্ক্রিয় ইউরেনিয়াম শ্রেণী (Uranium



চিত্র 1.2: মৌল পদার্থ গঠনের প্রবাহ-চিত্র।

series) হইতে প্রমাণিত হইয়াছে যে, আমাদের পৃথিবীর বয়স প্রায় 300 কোটি বছর।

মৌল পদার্থ গঠনের প্রবাহ-চিত্র দেখিয়া হইল (চিত্র 1.2)।

অতএব আমরা মোটামুটি বলিতে পারি যে, পৃথিবীতে আমরা যে

মৌলগুলি দেখিতে পাই এবং যাহা পর্যায়-সারণী রচনা করিয়াছে, তাহাদের সৃষ্টি হইয়াছিল দূর-দূরান্তের এক নীহারিকা দেহে— নিখিল সৃষ্টির মূল গঙ্গোত্রীর অগ্নিকুণ্ডে ।

প্রাসঙ্গিক গ্রন্থ, প্রবন্ধাদি :

1. W. A. Fowler—Scientific American, September, 1956

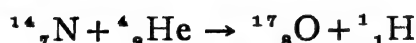
## ২। তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ—প্রযুক্তি ও প্রয়োগ

( Radioactive Isotopes—Techniques & Applications )

পরমাণুযুগে তেজস্ক্রিয় আইসোটোপের নাম সকলের সুপরিচিত। কিন্তু ইহার অন্তরালে কত বিজ্ঞানীর অক্লান্ত ও অতন্দ্র সাধনা রহিয়াছে সেই ইতিহাস অনেকের কাছে অজ্ঞাত।

1896 সালে হেনরি বেকুরেল (Henry Becquerel) কর্তৃক তেজস্ক্রিয়তা আবিষ্কার এক নূতন যুগের সূচনা করিল। ইহার দুই বৎসর পরে মাদাম কুরী ও পিয়ের কুরী রেডিয়াম আবিষ্কার করিলেন। 1919 সালে লর্ড রাদারফোর্ড (Lord Rutherford) ও শ্যাড্‌উইক (Chadwick) সর্বপ্রথম কৃত্রিম তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ সৃষ্টি করিলেন এবং মৌল পদার্থের রূপান্তর প্রক্রিয়া (Transmutation of elements)-র পথিকৃৎ হইলেন।

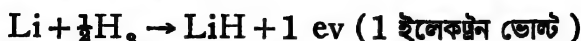
নাইট্রোজেন কেন্দ্রকের সঙ্গে উচ্চশক্তিসম্পন্ন আলফা কণার সংঘাতে অক্সিজেন = 17 ( পরবর্তী মৌল ) এবং প্রোটন উৎপন্ন হইল। অর্থাৎ নাইট্রোজেন-কেন্দ্রক অক্সিজেন-কেন্দ্রকে রূপান্তরিত হইল। এই ধরনের বিক্রিয়াকে কেন্দ্রক



বিক্রিয়া (Nuclear reactions) বলা হয়। এখানে পরমাণুর অন্তঃপুরে কেন্দ্রকের সহিত পরমাণু-কণার বিক্রিয়া হয়। কেন্দ্রকের বামদিকের শীর্ষে লিখিত সংখ্যাটি ভরসংখ্যা (Mass number) বা কেন্দ্রকের নিউট্রন ও প্রোটনের সমষ্টি-সংখ্যা এবং বামদিকে নিম্নে লিখিত সংখ্যা পরমাণু-ক্রমাঙ্ক (Atomic number)। এখানে  $^{14}_7\text{N}$ -এর অর্থ নাইট্রোজেন-কেন্দ্রকের ভরসংখ্যা 14 এবং পরমাণু-ক্রমাঙ্ক 7; রেডিয়াম C' (RaC') উৎস হইতে নিঃসৃত উচ্চশক্তি ও তীব্রগতি সম্পন্ন আলফা কণা নাইট্রোজেন-কেন্দ্রকে আকর্ষিত করিয়া উক্ত বিক্রিয়া সম্পন্ন করে। উৎপাদিত প্রোটন কণা ( $^1_1\text{H}$ ) একটি জিঙ্ক সালফাইড পর্দায় আলোক কণা স্ফুলিঙ্গায়িত (scintillation) করে। ইহা দ্বারা রাদারফোর্ড কেন্দ্রক বিক্রিয়া সম্বন্ধে নিঃসন্দেহ হন।

রাসায়নিক বিক্রিয়া পরমাণুর বহির্কক্ষস্থ ইলেকট্রন অণুস্তরে (Outer shell electrons) সীমাবদ্ধ এবং এই বিক্রিয়াজ শক্তি কেন্দ্রক-বিক্রিয়াজ-শক্তির তুলনায় প্রায় এক কোটি গুণ কম।

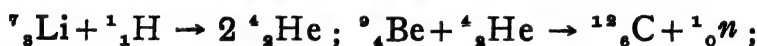
রাসায়নিক বিক্রিয়া :



কেন্দ্রক বিক্রিয়া :  ${}^7_3\text{Li} + {}^1_1\text{H} \rightarrow 2 {}^4_2\text{He} + 17\text{Mev}$  ( 1 কোটি 7 লক্ষ ইলেকট্রন ভোল্ট )

(1 Mev =  $1 \times 10^6$  ev =  $1.6 \times 10^{-8}$  erg =  $3.8 \times 10^{-14}$  calories)

প্রকৃতপক্ষে ব্যাপকভাবে কৃত্রিম তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ সৃষ্টির কৃতিত্বের অধিকারী হইলেন আইরিন (Irene) ও জোলিও কুরী (Joliot Curie) ( 1934 সাল )। জোলিও কুরী দম্পতী পোলোনিয়াম (Polonium) হইতে নির্গত আলফা কণার সাহায্যে বিভিন্ন মৌলিক পদার্থ হইতে তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ উৎপন্ন করেন। প্রথমে Polonium-210 (পোলোনিয়াম -210), Radium - C' ( রেডিয়াম - C' ) ইত্যাদি প্রকৃতিজ তেজস্ক্রিয় মৌলদের ক্ষেপণক (projectile) আলফা কণার উৎস হিসাবে ব্যবহার করা হইত। পরে কৃত্রিম উপায়ে আলফা কণা, নিউট্রন ও গামা রশ্মি ইত্যাদি ক্ষেপণক-কেন্দ্রক-বিক্রিয়া হইতে উৎপন্ন করা হইত।



পাঁচ বছরের মধ্যে উন্নত ধরনের কেন্দ্রক-ক্ষেপণক (Nuclear projectile) উৎপাদনকারী যন্ত্রাদি উদ্ভাবিত হইল—অ্যাক্সিলারেটর (Accelerator), সাইক্লোট্রন (Cyclotron), সিনক্রোট্রন (Synchrotron), বিট্রোট্রন (Betatron) ইত্যাদি। দ্বিতীয় মহাযুদ্ধের পরে পরমাণুচুল্লীর (Reactor) বহুল প্রচলন হইল। পরমাণুচুল্লী নিউট্রন কণার শ্রেষ্ঠ উৎস (নিউট্রন প্রবাহ প্রতি বর্গ-সেটিমিটারে প্রতি সেকেন্ডে  $10^{12} - 10^{16}$  নিউট্রন)। এই সব আবিষ্কারের ফলে 1950 সালের মধ্যে প্রায় 1000 এর বেশী কৃত্রিম তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ উৎপাদিত হইয়াছে। এখন এই সংখ্যা প্রায় দ্বিগুণ হইয়াছে এবং মৌল রূপান্তরের পথ সুগম হইয়াছে।

## ২.১ প্রকৃতি বা ধর্ম

স্থায়ী মৌল ও উহার তেজস্ক্রিয় আইসোটোপের মধ্যে পার্থক্য শুধু ভরসংখ্যা ও তেজস্ক্রিয়তার। দৃষ্টান্তস্বরূপ—ফস্ফরাসের স্থায়ী মৌল  $^{31}_{15}\text{P}$ —ইহার ভরসংখ্যা 31 এবং তেজস্ক্রিয়তা নাই। কিন্তু  $^{32}_{15}\text{P}$ , ফস্ফরাসের তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ অর্থাৎ পরমাণু-ক্রমাঙ্ক একই (15) অথচ ভরসংখ্যা বিভিন্ন (32) এবং ইহা হইতে বিটা কণা ( $\beta$ ) নিঃসৃত হয়, বাহার অর্ধায়ুকাল 14.3 দিন ( অর্থাৎ 14.3 দিনে তেজস্ক্রিয়তার মাত্রা অর্ধেক হয় )। এই  $^{32}\text{P}$  তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ এবং স্থায়ী আইসোটোপ  $^{31}\text{P}$ -এর রাসায়নিক ধর্ম একই।

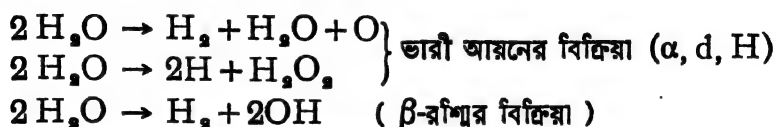
তেজস্ক্রিয় মৌল ( থোরিয়াম, ইউরেনিয়াম, অ্যাক্টিনিয়াম শ্রেণী ) হইতে প্রতিনিয়তঃ তেজস্ক্রিয়তা বিকীর্ণ হইতেছে এবং পরিশেষে ইহারা স্থায়ী মৌলে পরিণত হয় ( তেজস্ক্রিয় মৌল শ্রেণীর মধ্যে ইহা ঘটে )। অন্যান্য তেজস্ক্রিয় আইসোটোপের সাধারণতঃ দশ অর্ধায়ুকাল উত্তীর্ণ হইলে প্রায় নিষ্ক্রিয় হইয়া যায়।

তেজস্ক্রিয়তার মূল কারণ কেন্দ্রকে নিউট্রন-প্রোটনের অসাম্য অবস্থা। পরমাণু-ক্রমাঙ্ক-83 ( বিসমাথ )-এর পরের মৌলগুলিতে ক্রমাঙ্ক বৃদ্ধির সঙ্গে প্রোটনের তুলনায় নিউট্রনের আধিক্য এত বেশী পরিমাণ থাকে যে, কেন্দ্রকের স্থিতিাবস্থা লুপ্ত হয় এবং কেন্দ্রকগুলির স্থায়ী হ্রাস পাইতে থাকে। ফলে এই ভারী মৌলগুলির ( পরমাণু-ক্রমাঙ্ক  $> 83$  ) কেন্দ্রক হইতে নিউট্রনের বাহ্যিক্য কমাইয়া স্থায়ী অবস্থা প্রাপ্তির প্রবণতা দেখায়। কৃত্রিম তেজস্ক্রিয় আইসোটোপে প্রোটনের তুলনায় নিউট্রনের প্রাচুর্য থাকে। সেইজন্য ইহাদের কেন্দ্রকগুলি অস্থায়ী।

তেজস্ক্রিয়াজাত রশ্মি তিন প্রকারের : (১) আলফা (alpha,  $\alpha$ ) রশ্মি, (২) বিটা (beta,  $\beta$ ) রশ্মি এবং (৩) গামা (gamma,  $\gamma$ ) রশ্মি। একটি চুম্বকক্ষেত্র প্রয়োগ করিলে এই রশ্মিগুলি তিনভাগে বিভক্ত হয়। উহাদের একাংশ আদৌ প্রভাবিত হয় না—ইহা গামা রশ্মি ( $\gamma$ )। গামা রশ্মি তরঙ্গপ্রবাহ-বিশেষ, ইহাতে কোনও কণা নাই—ইহার ভেদনক্ষমতা (penetrating power) সর্বাধিক। চুম্বকক্ষেত্র প্রয়োগে কিছু রশ্মি ডান দিকে বাঁকিয়া যায়—ইহা আলফা ( $\alpha$ ) রশ্মি। বিটা রশ্মিতে অপরাধমণী কণা বা ইলেকট্রন আছে; আর আলফা রশ্মিতে পরাধমণী কণা থাকে, বাহা হিলিয়াম কণার সমতুল্য ( $^4_2\text{He}$ )।



কঠিন বস্তু ভেদ করার ক্ষমতা গামা রশ্মির সর্বাধিক এবং আলফা রশ্মির সর্বাপেক্ষা কম। এই তিন রশ্মি কোন বস্তু বিশেষতঃ গ্যাসের মধ্য দিয়ে বাইবার সময় উহাকে আয়নিত করে; এবং এই আয়নন-ক্ষমতা (Ionisation) আলফা রশ্মির সব চেয়ে বেশী আর গামা রশ্মির সব চেয়ে কম। এই তিন প্রকার রশ্মির প্রত্যেকের নিজস্ব শক্তি (Energy) ও অর্ধায়ুকাল (Half-life) থাকে যাহা দ্বারা ইহাদের সনাক্তকরণ করা যায়। এই তেজস্ক্রিয় সহজেই গাইগার মুলার গণক-যন্ত্রে (Geiger Müller counter) পরীক্ষা করা যায়। জলীয় দ্রবণে তেজস্ক্রিয়তার প্রভাবে জল-বিভাজন (Radiolysis) হইয়া হাইড্রোজেন, হাইড্রোজেন পেরোক্সাইড এবং মুক্ত মূলক (Free radicals) উৎপন্ন হয়।



এই জল-বিভাজন বিক্রিয়ার জন্যই মানবদেহে তেজস্ক্রিয় রশ্মি সমধিক অনিষ্ট সাধন করিতে পারে। পারমাণবিক বিস্ফোরণজাত তেজস্ক্রিয় ভস্ম-রাশির (Radioactive ash) কবলে দ্বাংহারা পড়িয়াছিলেন, তাঁহাদের মধ্যে প্রাণহানি, অঙ্গহানি এবং বংশপরম্পরায় দুরারোগ্য ব্যাধির সংবাদ হয়তো অনেকেই জানেন। তাই তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ লইয়া কার্য করিবার সময় যথোচিত সতর্কতা অবলম্বন করা অবশ্য প্রয়োজনীয়।

## ২.২ ট্রেসার প্রযুক্তি (Tracer technique) ও প্রয়োগ

তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ ও উহার স্থায়ী মৌলের রাসায়নিক ধর্ম একই। কাজেই কোন রাসায়নিক বা জীবকোষের (biological cell) প্রতিক্রিয়ার স্থায়ী মৌল বা আইসোটোপের সহগমন করে, উক্ত মৌলের তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ। এই তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ সহজেই আত্মপ্রকাশ করে গণনা-কারক যন্ত্রে (Geiger Müller counter) এবং রাসায়নিক ইত্যাদি প্রতিক্রিয়ার বিভিন্ন পর্যায়ে ইহাকে অনুধাবন করা যায়। অত্যন্ত অল্প পরিমাণ তেজস্ক্রিয় আইসোটোপকে ( $10^{-16}$  গ্রাম) সহজেই সন্ধান করা যায়। তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ সহযোগে মূল স্থায়ী আইসোটোপের বিক্রিয়া অনুসরণ করার প্রযুক্তির নাম তেজস্ক্রিয় ট্রেসার প্রযুক্তি (Radioactive tracer technique)।

ট্রেসার প্রযুক্তি আঙ্গিক (qualitative) বা মাত্রিকভাবে সম্পন্ন করা যায়। পরীক্ষাধীন বস্তুর সহিত ইহার উপযুক্ত তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ যোগ করা হয়। বিক্রিয়াটির নির্ধারিত পর্যায়ে উপযুক্ত নমুনা সংগ্রহ করা হয় এবং বাঞ্ছিত আইসোটোপটিকে রাসায়নিক পৃথকীকরণের পর গণনাকারক যন্ত্রে বিশ্লেষণ করা হয়। এই প্রযুক্তি বিজ্ঞানের বিভিন্ন শাখায়—রসায়ন, পদার্থ-বিদ্যা, প্রাণিবিজ্ঞান, ভূতত্ত্ব, খাত্তবিদ্যা ইত্যাদি—নব নব দিগন্ত উন্মোচিত করিয়াছে। ইহার বহুমুখী প্রয়োগের কয়েকটি আলোচিত হইল।

## ২.২.১ রাসায়নশাস্ত্রে ট্রেসার প্রযুক্তি

(ক) ব্যাপন (Diffusion)—অনেক রাসায়নিক ও খাত্তশোধান প্রক্রিয়ার ব্যাপন, তরল বা কঠিন পদার্থের স্বতঃ ব্যাপনের (Self-diffusion) সম্বন্ধে তথ্য অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ। কঠিন খাত্তের তাপবিকিরণ ফলে পরমাণুগুলির ব্যাপন কীভাবে হয় তাহা বোঝা যায় তেজস্ক্রিয় আইসোটোপের দ্বারা।

দৃষ্টান্তস্বরূপ, এক খণ্ড তামার উপর তেজস্ক্রিয় তামার ( $^{64}\text{Cu}$ ) একটি পাতলা স্তর জমানো হয়। তামার উপরিভাগে তেজস্ক্রিয়তা প্রথমে পরিমাপ করা হয়। পরে উত্তপ্ত করিয়া এই তেজস্ক্রিয় তামা সমগ্র খাত্তখণ্ডটির মধ্যে বিস্তৃত হইয়া পড়ে। এইবার আবার খাত্তখণ্ডটির তেজস্ক্রিয়তা পরিমাপ করিলে তামার পরমাণুর ব্যাপন গুণাঙ্ক (Diffusion coefficient) নির্ণয় করা যায়।

এই ধরনের পরীক্ষা সঙ্কর খাত্ত (alloy) সংক্রান্ত বিজ্ঞানে অত্যন্ত মূল্যবান, কারণ সঙ্কর খাত্তের শক্তি ও অন্যান্য বৈশিষ্ট্য অসদৃশ পরমাণুর বন্টনের উপর নির্ভর করে।

(খ) উপরিভাগের রসায়ন (Surface chemistry)—পদার্থের উপরিভাগের নানারকম জটিল প্রক্রিয়া সম্বন্ধে আলোকপাত করা সম্ভব হইয়াছে ট্রেসার প্রযুক্তি দ্বারা। লোহার মরচে পড়া সম্বন্ধে সঠিক চিত্র উপলব্ধি হইয়াছে। মরচে প্রতিরোধ করার জন্য ফ্রোমেট ব্যবহার করা হয় বাহাতে তেজস্ক্রিয় ফ্রোমিয়াম-51 মিশ্রিত থাকে। এই ফ্রোমেট-51-কে অনুসরণ করিয়া ফ্রোমেটের বিক্রিয়া বোঝা যায়।

কঠিন পদার্থ, চূর্ণ বস্তু (Powder) ও কলয়েড (Colloid) ইত্যাদির উপরিভাগের আয়তন নিরূপণ সম্ভবপর হইয়াছে। একটি দৃষ্টান্ত দেওয়া যাক। লেড সালফেটের (ট্রেসার, থোরিয়াম B) সংপৃক্ত দ্রবণে (Saturated

solution) একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ লেড সালফেট যোগ করা হইল। দ্রবণ ও কঠিন পদার্থের উপরিতলের লেড পরমাণুগুলির মধ্যে গতির বিনিময় (Kinetic exchange) হইবে, যাহার ফলে দ্রবণে তেজস্ক্রিয়তা হ্রাস পাইবে।

$$\frac{\text{উপরিতলের ThB}}{\text{দ্রবণের ThB}} = \frac{\text{উপরিতলের Pb}}{\text{দ্রবণের Pb}}$$

বাস্তবিকের অনুপাত সহজেই পরিমের। দ্রবণে লেডের গাঢ়তা জানা থাকে (সংপৃক্ত দ্রবণ)। অতএব উপরিতলের লেডের ওজন এবং পরমাণু-সংখ্যা হিসাব করা যায়। ইহা হইতে কঠিন লেড সালফেটের গ্রাম পিছু উপরিতলের আয়তন নির্ণয় করা যায়। এইভাবে বেরিয়াম সালফেট ও স্ট্রনসিয়াম সালফেটের (তেজস্ক্রিয় সালফার-35) উপরিভাগের আয়তন নির্ণীত হইয়াছে।

(গ) বাষ্পচাপ (Vapour pressure) নির্ধারণ—কঠিন অথবা তরল ধাতুর বাষ্পচাপ নির্ণয় করিবার জন্য তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ নিয়োগ করা হয়। যে সমস্ত ধাতু অধিক উচ্চ তাপে তরল হয় তাহাদের ক্ষেত্রে ওজন করিবার উপযোগী বাষ্প সংগ্রহ করা সময় সাপেক্ষ—অনেক ঘণ্টা বা দিন সময় লাগে। কিন্তু ট্রেসার প্রয়োগে মাত্র কয়েক মিনিটেই কাজ সম্পন্ন হয়। তরল রূপার (গলনাঙ্ক  $1955^{\circ}$  সেন্টিগ্রেড) সঙ্গে রূপা-110 আইসোটোপ মিশ্রিত করা হয়। উত্তপ্ত গলিত ধাতু হইতে বাষ্পকে একটি ছিদ্রপথ দিয়া শীতল ধাতুর পাতে ঘনীভূত করা হয়। তারপর ইহার তেজস্ক্রিয়তা হইতে বাষ্পীভূত ধাতুর পরিমাণ এবং বাষ্পচাপ নিরূপণ করা হয়।

(ঘ) বিনিময় বিক্রিয়া (Exchange reactions)—ট্রেসারের প্রয়োগে বহু বিনিময় বিক্রিয়ার উপর আলোকপাত করা সম্ভব হইয়াছে। কয়েকটি মূল্যবান তথ্য এখানে দেওয়া হইল।

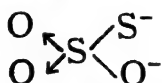
জলীয় দ্রবণে  $\text{Cl}^- - \text{Cl}_2$ ,  $\text{Br}^- - \text{Br}_2$ ,  $\text{I}^- - \text{I}_2$ -এর মধ্যে বিনিময় এত দ্রুত হারে ঘটে যে, ট্রেসার ছাড়া সাধারণ পদ্ধতিতে পরিমাপ করা যায় না। বিক্রিয়াসাম্য এইরূপ— $\text{I}^- + \text{I}_2 \rightleftharpoons \text{I}_3^-$ । শূষ্ক পেটেন (Pentane) দ্রাবকে  $\text{I}_2$  ও  $\text{SbI}_5$ -এর বিনিময় 20 মিনিটে সম্পূর্ণ হয়  $37^{\circ}$  সেন্টিগ্রেডে—সম্ভবতঃ অন্তর্বর্তী যৌগ  $\text{SbI}_5$  গঠিত হয়।

কার্বন টেট্রাক্লোরাইড মাধ্যমে সাধারণ তাপে  $\text{Br}_2$  ও  $\text{AsBr}_3$ -এর মধ্যে (অন্তর্বর্তী যৌগ  $\text{AsBr}_3$ ) এবং  $\text{Br}_2$  ও  $\text{SnBr}_4$ -এর মধ্যে (অন্তর্বর্তী

বৌগ  $\text{SnBr}_2$ ) দ্রুত হারে বিনিময়ে ঘটে। জলীয় দ্রবণে  $\text{PtBr}_4^{--}$  বা  $\text{PtBr}_6^{--}$  এর সমস্ত Br পরমাণু দ্রুত হারে  $\text{Br}^-$ -এর সহিত বিনিময় করে। আবার  $\text{HgI}_4^{--}$  এর চারটি I পরমাণু  $\text{I}^-$  আয়নের সহিত দ্রুত হারে বিনিময় করে।

সালফার-35 ( $^{35}\text{S}$ ) ট্রেসারের সাহায্যে গবেষণা উল্লেখযোগ্য। পলি-সালফাইড দ্রবণে (Polysulphide) সালফার এবং সালফাইড ( $\text{S}^{--}$ ) আয়নের বিনিময় ঘটে।  $100^\circ$  সেন্টিগ্রেডে সালফাইড ও সালফেট, সালফাইট ( $\text{SO}_3^{--}$ ) ও সালফেট ( $\text{SO}_4^{--}$ ), সালফিউরাস অ্যাসিড (Sulphurous) ও বাইসালফেট আয়ন ( $\text{HSO}_4^-$ ) এর মধ্যে বিনিময়ের মাত্রা বর্ণিত নয়।

থায়োসালফেট আয়নের ( $\text{S}_2\text{O}_3^{--}$ ) গঠন সন্দেহাতীতভাবে প্রমাণিত হইয়াছে  $^{35}\text{S}$  ট্রেসার দ্বারা। তেজস্ক্রিয় সালফার-35 ও সালফাইট ( $\text{SO}_3^{--}$ ) মিশ্রিত করিয়া থায়োসালফেট প্রস্তুত করা হয়। পরে অ্যাসিডের দ্বারা বিভাজন করা হইলে দেখা যায় যে, তেজস্ক্রিয়তা অধঃক্ষিপ্ত সালফারের মধ্যে থাকে অথচ বিক্রিয়াজ সালফার ডাই-অক্সাইডের মধ্যে থাকে না। অর্থাৎ  $\text{S}_2\text{O}_3^{--}$  এর দুইটি সালফার পরমাণু অসম। তাছাড়া তেজস্ক্রিয় সালফাইড



আয়ন ( $\text{S}^{--}$ ) এবং  $\text{S}_2\text{O}_3^{--}$  এর অর্ধেক সালফারের মধ্যে দ্রুত বিনিময় ঘটিয়া থাকে।

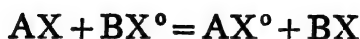
ফস্ফরিক ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) এবং ফস্ফরাস অ্যাসিড ( $\text{H}_3\text{PO}_3$ ) আর ফস্ফরিক এবং হাইপো-ফস্ফরাস অ্যাসিড ( $\text{H}_3\text{PO}_2$ )  $100^\circ$  সেন্টিগ্রেড তাপেও ফস্ফরাস পরমাণু বিনিময় করে না। আর্সেনেট ( $\text{H}_3\text{AsO}_4$ ) ও আর্সেনাইট ( $\text{HAsO}_3$ )  $100^\circ$  সেন্টিগ্রেড তাপেও উল্লেখযোগ্য বিনিময় করে না।

ম্যাঙ্গানিজ বৌগদের মধ্যে বিনিময় বিক্রিয়া অনুসন্ধান করা হইয়াছে। বিনিময়-অযোগ্য যুগ্মগুলি হইল— $\text{MnO}_4^- - \text{Mn}^{++}$ ,  $\text{MnO}_4^- - \text{Mn}(\text{C}_2\text{O}_4)_2^{4-}$ ,  $\text{MnO}_4^- - \text{MnO}_2$  ইত্যাদি। শেবোস্ত ক্ষেত্রে ইলেকট্রন স্থানান্তরের দ্বারা জারণ-বিজারণ বিক্রিয়া সংশ্লিষ্ট থাকে।

কিছু ধাতুর উপরিতলের সঙ্গে দ্রবণে সেই ধাতুর আয়নের সঙ্গে সম্বোধনক বিনিময় পর্যবেক্ষণ করা হইয়াছে। উদাহরণস্বরূপ, সিলভার ( $\text{Ag}$ ), জিঙ্ক

(Zn) ও লেড (Pb) এর নাম করা যাইতে পারে। সাধারণ তাপমাত্রায় এক ঘণ্টার রূপার 10–100 পারমাণবিক স্তর পর্যন্ত বিনিময় সম্পন্ন হয়। নতুন সিলভার ব্রোমাইড (AgBr) অধঃক্ষেপ দ্বারা Br<sup>-</sup> এর সঙ্গে সক্রিয় ভাবে বিনিময় ঘটায় কিন্তু অধঃক্ষেপ পুরাতন (aged) হইলে বিনিময়-বিক্রিয়া মন্থর গতিতে চলে।

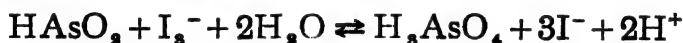
কয়েকটি ক্ষেত্রে বিনিময়-বিক্রিয়া মাত্রিকভাবে (Quantitatively) নির্ণীত হইয়াছে।



যেখানে X<sup>°</sup> = তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ (X পরমাণুর)

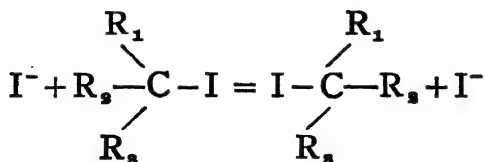
(৩) বিক্রিয়ার গতিবিজ্ঞা ও কার্য-বিধি (Reaction Kinetics & Mechanism)—এই বিষয়ে ট্রেসারের অবদান গুরুত্বপূর্ণ।

আরোয়ডিন অনুঘটকের সাহায্যে আর্সেনাস (Arsenous) ও আর্সেনিক (Arsenic) অ্যাসিডের বিনিময়-বিক্রিয়ার হার তেজস্ক্রিয় আর্সেনিক আইসোটোপের দ্বারা সহজেই পরিমাপ করা যায়।



বিক্রিয়াটির সাম্যধ্রুবক (Equilibrium constant),  $K = K_f/K_r$ , যেখানে K<sub>f</sub> ও K<sub>r</sub> অগ্রগামী (Forward) ও বিপরীতমুখী (Reverse) বিক্রিয়ার হার সূচিত করে।

ওয়াল্ডেন বিবর্তন (Walden Inversion) এর তত্ত্ব অনুযায়ী বিবর্তনের প্রণালী হইতেছে :



এখানে একই বর্গের (group) দ্বারা প্রতিস্থাপন (Substitution) হইয়াছে। তাই প্রারম্ভিক (Initial) অণু যদি আলোক-সক্রিয় (Optically active) হয়, তবে অন্তিম (Final) বিক্রিয়াজ পদার্থ (Product) আলোক-নিষ্ক্রিয় (Racemic) হইবে।

ক্রোমিয়াম অক্সালেট আয়নের ক্ষেত্রে,  $Cr(C_2O_4)_3^{3-}$ , আলোক-নিষ্ক্রিয়তা দেখা গেছে, কিন্তু ক্রোমিয়াম বোজকের (Cr—C—O—) তারতম্য

অনুযায়ী ইহা আলোক-সক্রিয় হইতে পারে। জলীয় দ্রবণে ইহার আলোক-নিষ্ক্রিয়তা দ্রুত হারে ঘটে এবং বিক্রিয়াটি মোটামুটি প্রথম ক্রমের (First order) ; আলনন এইখানে বিক্রিয়া হার নির্ণয় করে।

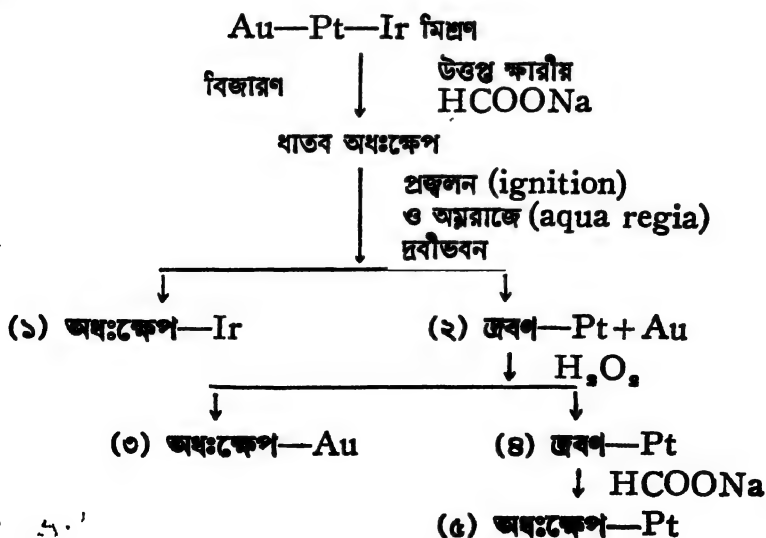


বিকল্প মতবাদ অনুযায়ী উক্ত ক্ষেত্রে আন্তঃআণবিক পুনর্বিন্যাস (Intramolecular rearrangement) সম্ভবতঃ ঘটে। তেজস্ক্রিয় অক্সালেট ( $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ ) (ট্রেসার  $^{11}\text{C}$  আইসোটোপ) দ্রবণ লইয়া দেখা যায় যে, তেজস্ক্রিয়তা ফ্রোমিয়াম বোণের মধ্যে সঞ্চারিত হয় না। কাজেই আলনন প্রণালী সমর্থিত হয় না বরং আন্তঃআণবিক পুনর্বিন্যাসই স্বীকৃত।

(চ) পৃথকীকরণের পরীক্ষা—রাসায়নিক পৃথকীকরণের মাত্রা পরীক্ষার ব্যাপারে ট্রেসারের ভূমিকা অত্যন্ত প্রয়োজনীয় বিশেষতঃ কৃত্রিম মৌল পদার্থ—ইউরেনিয়ামোক্তর মৌল শ্রেণীর ক্ষেত্রে (সপ্তম পরিচ্ছেদ)।

সোনা-প্ল্যাটিনাম-ইরিডিয়াম মিশ্রণের পৃথকীকরণ পদ্ধতি দৃষ্টান্তস্বরূপ ধরা যাক। পদ্ধতিটি প্রবাহ-চিহ্ন দ্বারা বোঝান হইল।

সোনা ট্রেসার ( $^{198}\text{Au}$ ) দ্বারা প্রমাণিত হইয়াছে যে সোনার অংশে (৩) 97% সোনা থাকে—অবাশিষ্ট 3% সোনা প্ল্যাটিনামের অংশে (৫) বাহিত থাকে।



টিন সালফাইড ( $\text{SnS}_2$ ) অধঃক্ষেপ বিভিন্ন পরীক্ষামূলক অবস্থায় কোবাল্ট ট্রেসার ( $^{60}\text{Co}$ ) দ্বারা পরীক্ষা করা হইয়াছে। দেখা যায় যে, অধিক অ্যাসিড দ্রবণে সহায়ঃক্ষেপন হ্রাস পায় এবং কোবাল্টের সংক্রমণ (contamination) রোধ করা যায় অ্যাক্রোলিন (acrolein) বিকারক দ্বারা।

তেজস্ক্রিয় বোরিলিয়াম দ্বারা প্রমাণিত হইয়াছে যে pH6 এর অধিক pH-এ অ্যালুমিনিয়াম-8 হাইড্রোক্সিকুইনোলিন অধঃক্ষেপের সঙ্গে বোরিলিয়ামের সংক্রমণ থাকে। এই সংক্রমণ বা সহায়ঃক্ষেপণ pH6 এর নীচে অর্থাৎ অ্যাসিডীয় দ্রবণে অনুপস্থিত থাকে।

অদ্রবণীয় অধঃক্ষেপগুলির ( সালফাইড, সালফেট, ফস্ফেট ইত্যাদি ) দ্রাব্যতা তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ দ্বারা নির্ণীত হইয়াছে। অধঃক্ষেপণের পর অধঃক্ষেপ ও দ্রবণে তেজস্ক্রিয়তা পরিমাপ করিলেই সহজেই দ্রাব্যতা নির্ধারণ করা সম্ভব। টিন ফেরোসায়নাইডের  $\text{Sn}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$  দ্রবণীয়তা অনুরূপভাবে নির্ণীত হইয়াছে।

(ছ) আইসোটোপ লঘুকরণ পদ্ধতি (Isotope Dilution Method)—প্রাণী-রসায়ন ও প্রাণী-বিজ্ঞানে এই পদ্ধতি সমাধিক প্রচলিত। জটিল জৈব মিশ্রণের কোনও উপাদান যখন মাত্রিকভাবে পৃথক করা সম্ভব নয়, তখন এই পদ্ধতি প্রযোজ্য। নমুনা মিশ্রণের সঙ্গে নির্দিষ্ট ওজনের এক তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ চিহ্নিত (tagged) যৌগ মিশ্রিত করা হয়। তারপর মিশ্রণ হইতে বিশুদ্ধ যৌগটিকে পৃথক করা হয় এবং ইহার বিশিষ্ট তেজস্ক্রিয়তা (specific activity) অর্থাৎ গ্রাম প্রতি তেজস্ক্রিয়তা পরিমাপ করা হয়। ইহার সহিত প্রারম্ভিক বিশিষ্ট তেজস্ক্রিয়তার তুলনা করা হয়। ইহাতে মূল ট্রেসারের লঘুকরণ (তেজস্ক্রিয়তা-শূন্য নিষ্ক্রিয় যৌগের জন্য) হয় এবং নিষ্ক্রিয় পদার্থের পরিমাণ নির্ধারণ করা সম্ভব। এখানে ট্রেসারের দ্বারা রাসায়নিক পৃথকীকরণ পদ্ধতির উৎপাদন (yield) মাত্রা পরিমাপ করা যায়।

(জ) তেজস্ক্রিয়মিতি (Radiometric) পদ্ধতি—ইহা একটি গৌণ বৈজ্ঞানিক পদ্ধতি। তেজস্ক্রিয়তা-শূন্য বস্তুর পরিমাণ নির্ণয় করার জন্য অল্পমাত্রার উপযুক্ত তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ ব্যবহার করা হয়। দৃষ্টান্ত-স্বরূপ, ক্লোরাইড আয়ন নিরূপিত করা যায় তেজস্ক্রিয়  $^{110}\text{Ag}$  সমেত  $\text{AgCl}$  অধঃক্ষেপণের সাহায্যে। বিকারক  $\text{AgNO}_3$  ( $^{110}\text{Ag}$ ) এর

প্রারম্ভিক সক্রিয়তা এবং অধঃক্ষেপণের পর পরিষ্কৃত দ্রবণের সক্রিয়তা পরিমাপ করা হয়। সক্রিয়তার এই পার্থক্য হইতে অজ্ঞাত দ্রবণের ক্লোরাইড আয়নের গাঢ়তা সহজেই নির্ণয় করা যায়। এই পদ্ধতিতে অতিউন পরিমাণ ক্লোরাইড আয়ন ( $10^{-6}$  গ্রাম) নির্ধারণ করা সম্ভব। অনুরূপভাবে সিলভার আয়নের গাঢ়তা নির্ণয় করা যায় তেজস্ক্রিয় আয়োডিন সমেত KI দ্বারা AgI অধঃক্ষেপণের সাহায্যে।  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  অধঃক্ষেপে  $10^{-6}$  গ্রাম ও তার চেয়েও অল্প সিলভার AgI হিসাবে শোষিত করা যায় এবং পরে উহার গাঢ়তা নির্ধারণ করা সম্ভব। তেজস্ক্রিয়  $\text{TI}^+$  অথবা  $\text{I}^-$  সহ অদৃশ্য পরিমাণ  $\text{TII}$  এক উপযুক্ত প্লেটে সংগ্রহ করা যায় এবং তারপর সক্রিয়তার মাত্রা হইতে গাঢ়তা নিরূপণ অতি সহজসাধ্য ব্যাপার।

(খ) উষ্ণ সক্রিয়তা বিশ্লেষণ (Activation analysis)—একথাৎকাল আলোচিত প্রয়োগগুলিতে তেজস্ক্রিয় আইসোটোপের মূল্যায়ন হয় তাহার সক্রিয়তা বা তেজস্ক্রিয়া হইতে। ইহা বৈজ্ঞানিক রসায়নের (Analytical chemistry) বিশিষ্ট পদ্ধতি। এখানে মূল নমুনাটিকে দ্রবীভূত বা বিয়োজিত করিয়া বাঞ্ছিত উপাদানটিকে (তেজস্ক্রিয় আইসোটোপসহ) পৃথক করিতে হয়। কিন্তু আলোচ্য প্রক্রিয়াটিতে মূল নমুনাটিকে রাসায়নিক বিয়োজন বা দ্রবীভবন করার দরকার হয় না (Nondestructive analysis)। তেজস্ক্রিয়তাবিহীন অথবা নিষ্ক্রিয় নমুনাটিকে পরমাণুচুল্লী-নিঃসৃত নিউট্রনপ্রবাহে অবগাহন করার ফলে তেজস্ক্রিয়তার উদ্ভব করা হয়। নির্দিষ্ট সময়ান্ত্রে নমুনাটিকে অপসারণ করিয়া প্রত্যক্ষভাবে উহার উদ্ভব তেজস্ক্রিয়া গণনা-কারক যন্ত্রে পরিমাপ করা হয়। তেজস্ক্রিয়ার মাত্রা এবং নিম্নোক্ত সমীকরণের অন্যান্য প্রাসঙ্গিক কারক (factor) হইতে নমুনাটির ওজন নির্ণয় করা যায়।

$$\text{উষ্ণ তেজস্ক্রিয়া, } A = fN\sigma(1 - \exp \{-0.693t/T_{1/2}\})$$

$f$  = নিউট্রন প্রবাহের (flux) মাত্রা অর্থাৎ

প্রতি সেকেন্ডে প্রতি বর্গ-সেন্টিমিটারে নিউট্রন সংখ্যা ;

$N$  = নমুনাবস্তুর পরিমাণসংখ্যা (প্রতি মোলে)

$$= \frac{\text{লক্ষ্যবস্তুর মোট ওজন}}{\text{পারমাণবিক গুরুত্ব}} \times 6.02 \times 10^{23}$$

$\sigma$  = প্রস্থচ্ছেদ (cross-section) অর্থাৎ কেন্দ্রকের বে আয়তন



ক্ষেপণক প্রবাহের সঙ্গে বিক্রিয়ার লিঙ্গ থাকে (একক =  $10^{-24}$  বর্গ-সেটিমিটার)

$t$  = কেন্দ্রক ক্ষেপণক রশ্মির সম্ভ্রুতকাল (সেকেণ্ডে)

$T_{1/2}$  = অর্ধায়ুসময় (সেকেণ্ডে)

$$\exp \{ -0.693t/T_{1/2} \} = 1 - e^{-\frac{0.693t}{T_{1/2}}}$$

দৃষ্টান্তস্বরূপ হিসাব করা যাক, 1 গ্রাম সোনা ( $^{197}\text{Au}$ ) হইতে 3.8 দিন পরমাণুচুম্বীর নিউট্রন-সম্পাতে কত সক্রিয়তা উৎপন্ন হয় ( $f = 1 \times 10^{12}$  নিউট্রন প্রতি বর্গ-সেটিমিটারে প্রতি সেকেণ্ডে);

$\sigma = 96 \text{ barns} = 96 \times 10^{-24}$  বর্গ-সেটিমিটার;

$T_{1/2} = 3.8$  দিন )।

উৎপন্ন সক্রিয়তা (প্রতি সেকেণ্ডে বিভাজন)

$$= fN\sigma(1 - \exp \{ -0.693t/T_{1/2} \})$$

$$= (1 \times 10^{12}) \left( \frac{1}{197} \times 6.02 \times 10^{23} \right) (96 \times 10^{-24})$$

$$\left( 1 - \exp \frac{-0.693 \times 3.8}{3.8} \right)$$

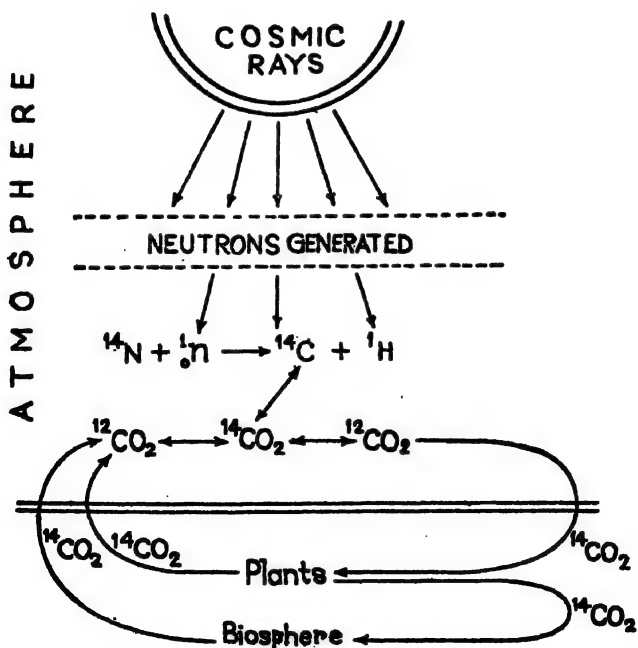
$$= 1.5 \times 10^{11} \text{ বিভাজন প্রতি সেকেণ্ডে (dps)}$$

$$= 4 \text{ কুরী সক্রিয়তা (1 কুরী, curie} = 3.7 \times 10^{10} \text{ dps)}$$

হিসাব করিলে দেখা যায়, এই সক্রিয়তার উৎস তেজস্ক্রিয় সোনার ( $^{198}\text{Au}$ ) উৎপাদন ( $2 \times 10^{-5}$  গ্রাম)। গণনা-কারক যশে অতি সহজেই  $10^{-10}$  গ্রাম পর্যন্ত  $^{197}\text{Au}$  আজিকভাবে নিরূপণ করা যায়। বৈজ্ঞানিক রসায়নে সর্বাপেক্ষা সুবেদী পদ্ধতি হইল এই উৎপন্ন সক্রিয়তা পদ্ধতি। ডায়ট্রন ( $^2\text{H}$ ) রশ্মি সম্পাত করিয়া অতি অল্প পরিমাণ অপদ্রব্য—লোহার মধ্যে গ্যালিয়াম, নিকেলের মধ্যে তামা, কোবাল্ট অক্সাইডের মধ্যে লোহা ইত্যাদি সহজেই পরিমাপনযোগ্য। অর্ধপরিবাহী (Semi-conductor) বস্তুর মধ্যে  $10^{-8} - 10^{-10}$  গ্রাম অপদ্রব্য আলোচ্য পদ্ধতিতে নির্ণয় করা হইয়া থাকে।

(এ) তেজস্ক্রিয় কার্বন দ্বারা তারিখ নির্ণয় (Radiocarbon dating)—উদ্ভিদ ও প্রাণিজগতের তেজস্ক্রিয় কার্বন আইসোটোপ ( $^{14}\text{C}$ ) সাধারণ কার্বনের ( $^{12}\text{C}$ ) সঙ্গে মিশ্রিত থাকে। ইহাদের  $^{14}\text{C} \leftrightarrow ^{13}\text{C}$  সাম্য উদ্ভিদের বিনাশ ও জীবের মৃত্যুর পর ছিন্ন হয় এবং তখন হইতে কার্বন-14-এর তেজস্ক্রিয়তা হ্রাস পাইতে থাকে। যে কোনও পুরাতাত্ত্বিক নমুনার (কাঠ বা প্রাণিজ বস্তু) অবশিষ্টাংশ কার্বন-14 তেজস্ক্রিয়তা পরিমাপ করিয়া উহার সঠিক বয়স নির্ণয় করা সম্ভব। ইহাই এই পদ্ধতির মূল নীতি। এই পদ্ধতির আবিষ্কারক উইলার্ড লিবি (Willard Libby, 1945—); তিনি 1960 সালে তাঁর প্রযুক্তির ব্যাপক প্রয়োগের জন্য নোবেল পুরস্কারে সম্মানিত হইয়াছিলেন।

বায়ুমণ্ডলের উচ্চতর স্তরে কস্মিক রশ্মির সংঘর্ষে নিউট্রন উৎপন্ন হয়। এই নিউট্রন বায়ুমণ্ডলের নাইট্রোজেনের সহিত বিক্রিয়ার লিপ্ত হইয়া কার্বন-14 সৃষ্টি করে (চিত্র 2.1)।



চিত্র 2.1 : কার্বন চক্র।

কার্বন-14 এর  $\beta$ -তেজস্ক্রিয়তা আছে—শক্তি 1.6 লক্ষ ইলেকট্রন ভোল্ট ; অর্ধায়ুসময় 5568 বছর। ইহার বিশিষ্ট সক্রিয়তার হার (Specific disintegration rate)  $1.7 \times 10^{11}$  বিভাজন (প্রতি গ্রামে প্রতি সেকেন্ডে)। এই সক্রিয়তা রেডিয়ামের তেজস্ক্রিয়তার প্রায় সমতুল্য। কিন্তু বায়ুমণ্ডলে  $^{14}\text{C}$  মিশ্রিত ও লঘুকৃত থাকে  $^{12}\text{C}$  এর দ্বারা। আবার উচ্চতর বায়ুমণ্ডলে  $^{14}\text{C}$  জারিত হইয়া  $^{14}\text{CO}_2$  উৎপন্ন করে বাহ্য বায়ুপ্রবাহের দ্বারা সাধারণ নিষ্ক্রিয়  $^{12}\text{CO}_2$  এর সঙ্গে মিশ্রিত হয়, উদ্ভিদজগতে সালোকসংশ্লেষ প্রক্রিয়ার মাধ্যমে প্রবেশ করে এবং পরে প্রাণিজগতে আংশিকভাবে স্থানান্তরিত হয়। উদ্ভিদের বিনাশ ও প্রাণীর মৃত্যুর পর এই কার্বন চক্র ছেদ পড়ে বাহার ফলে  $^{14}\text{C}$  এর সক্রিয়তা হ্রাস পাইতে থাকে। কোনও নির্দিষ্ট সময়ে এই উদ্ভিদ বা প্রাণীর জীবাশ্মের মধ্যে  $^{14}\text{C}$  তেজস্ক্রিয়তা পরিমাপ করিয়া উহার সঠিক বয়স নির্ণয় করা যায় (Radiocarbon dating)।

এই পদ্ধতি দ্বারা লিবি ও তাঁহার সহযোগীরা 10,000 বছরের বেশী প্রাচীন প্রত্নতাত্ত্বিক নমুনার বয়স নির্ধারণ করিয়াছেন।

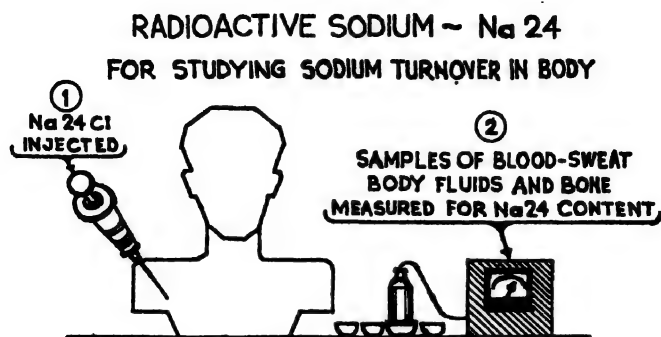
### ২.২.২ চিকিৎসাশাস্ত্রে ট্রেসার প্রযুক্তি

ট্রেসারের প্রয়োগ চিকিৎসা-শাস্ত্রে বৈদ্যবিক যুগান্তর সূচনা করিয়াছে। মানব-কল্যাণের আবেদন প্রত্যক্ষভাবে জড়িত আছে চিকিৎসাশাস্ত্রে। ট্রেসার পরমাণুগুলি মানবদেহের অভ্যন্তরস্থ নানাবিধ জটিল ক্রিয়াপদ্ধতির উপর নূতন আলোকপাত করিয়াছে। দেহের অঙ্গপুত্রের প্রক্রিয়াগুলি যদিও মূলতঃ রাসায়নিক, কিন্তু সেইগুলি এমন জটিল পথ অনুসরণ করে যে সাধারণ রাসায়নিক পদ্ধতিতে তাহা অনুধাবন করা যায় না। দেহের আভ্যন্তরীণ ক্রিয়ার অংশগ্রহণকারী প্রায় প্রত্যেকটি মৌলিক পদার্থের তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ পাওয়া যায়। কয়েকটি দৃষ্টান্ত সংক্ষেপে লিপিবদ্ধ হইল।

শরীরের অভ্যন্তরস্থ তরল অংশে (Body fluid) এবং কোষগুলিতে (Cell) সোডিয়ামের গতিপথ অনুসরণ করা হয় সোডিয়াম-24 ব্যবহারের দ্বারা। দেখা যায় যে, সোডিয়াম দেহের কোষস্থ তরল পদার্থে সবচেয়ে দ্রুতভাবে বিস্তৃত হয় এবং অতি দীর্ঘ দীর্ঘ ও অস্থির মধ্যে প্রবেশ করে।

কয়েকটি ক্ষেত্রে বিশেষ ধরনের অণুর বা অণুর অংশের গতিবিধি পরীক্ষণ করিতে হইলে তেজস্ক্রিয় পরমাণু দ্বারা চিহ্নিত জৈব অণু ব্যবহার করা হয়। এইভাবে তেজস্ক্রিয় প্রোটিন, শর্করা, অ্যামিনো অ্যাসিড, ভিটামিন ও হরমোন

প্রচুর ব্যবহৃত হইয়া থাকে। প্রোটিনের কার্বকলাপ লক্ষ্য করার জন্য অন্যতম বৈজ্ঞানিক অংশ  $^{14}\text{C}$  চিহ্নিত গ্রাইসিন (Glycine) প্রয়োগ করা হয়। কয়েকটি



চিত্র 2.2 : মানব-শরীরের অভ্যন্তরে সোডিয়ামের গতিপথ।

ইদুরের দেহে এই গ্রাইসিন সূচী প্রয়োগ করার পর বিভিন্ন সময়ে ইদুরগুলিকে হত্যা করা হয় এবং প্রত্যেকটির যকৃতের টিসু (Tissue) হইতে রাসায়নিক প্রক্রিয়ার অ্যামিনো অ্যাসিড পৃথক করিয়া গ্রাইসিনের গতিপথ চিহ্নিত করা হইয়াছে।

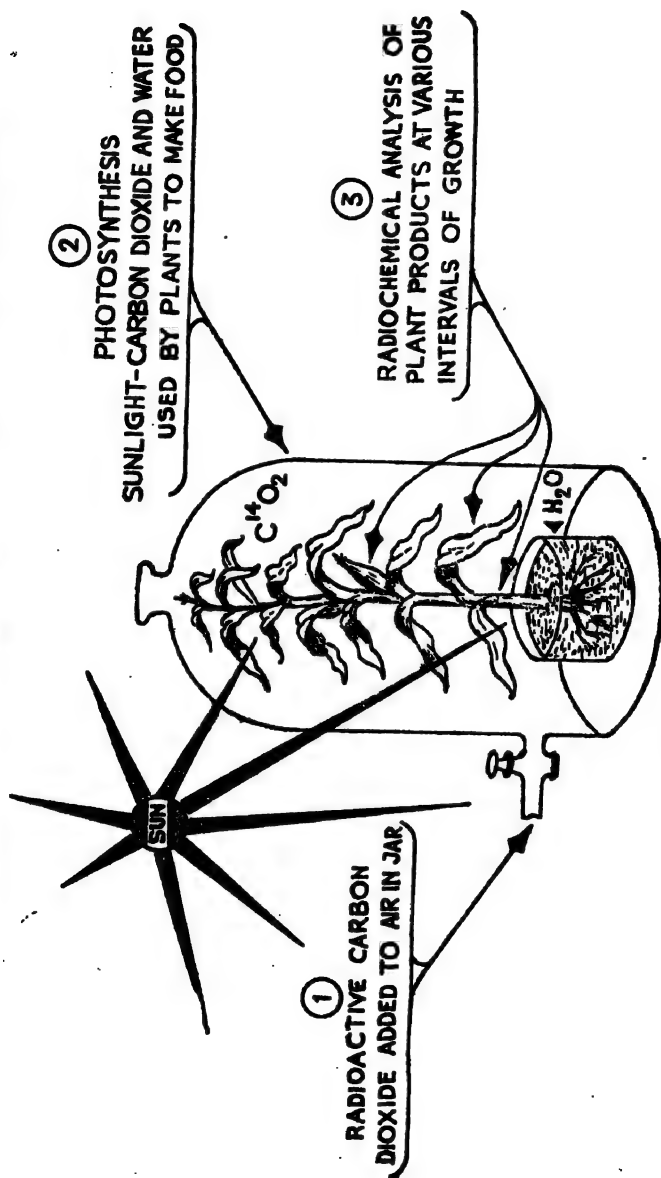
আরোডিন-131 দ্বারা ইনসুলিনের (Insulin) কার্য-ধারা এবং লোহা-59 দ্বারা রক্তের ফ্লো ইত্যাদি সম্বন্ধে আলোকপাত করা হইয়াছে। তাছাড়া আরোডিন-131 দ্বারা থাইরয়েড গ্রন্থির এবং রৌডিয়াম ও কোবাল্ট-60 দ্বারা ক্যানসার চিকিৎসা অতি সুপরিচিত।

### ২.২.৩ কৃষিকার্ষে ট্রেসার প্রযুক্তি

কৃষিকার্ষের গবেষণা অনুপ্রাণিত হইয়াছে তেজস্ক্রিয় আইসোটোপের প্রভাবে। উদ্ভিদের বৃদ্ধি ও পুষ্টির রহস্য উদ্ঘাটিত হইয়াছে। সালোকসংশ্লেষ (Photosynthesis) প্রক্রিয়ার প্রথম আলোকপাত সম্ভব হইয়াছে, তেজস্ক্রিয় কার্বন-14 এর দ্বারা (চিত্র 2.3)। উদ্ভিদের পরিপূর্ণি কোন কোন খনিজের উপর নির্ভর করে তাহার নিখুঁত চিত্র উদ্ঘাটিত হইয়াছে তেজস্ক্রিয় তামা, জিঙ্ক, সালফার, ক্যালসিয়াম, মালিবেডেনাম, ফসফরাস ইত্যাদির প্রয়োগে। এই সব খনিজ উপকরণ কোন গতিপথে উদ্ভিদের দেহের বিভিন্ন অংশে সঞ্চারিত হয় এবং কীভাবে উদ্ভিদ-কোষে প্রবেশ করে সেই

# RADIOACTIVE CARBON - C<sup>14</sup>

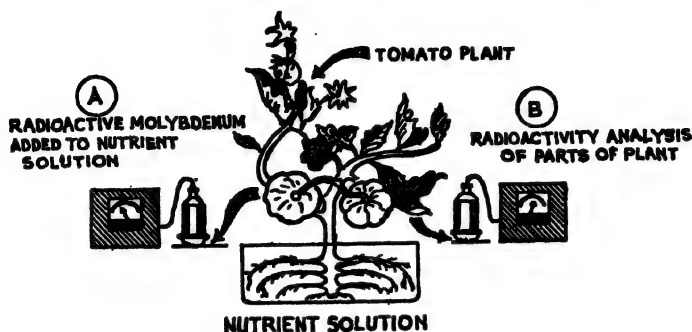
FOR STUDYING FOOD PRODUCTION BY PLANTS - PHOTOSYNTHESIS



চিত্র ২.৩ : সালোক-সংশ্লেষ।

তথ্য এখন সুপরিচিত। তেজস্ক্রিয় আইসোটোপের ব্যাপক প্রয়োগ হইতেছে কৃষি সার বিবরণ গবেষণায়। তাছাড়া আগাছা রোধ ও ব্যাধি নিরোধের ব্যাপারে ট্রেসার গবেষণায় অমূল্য তথ্য আহত হইয়াছে।

**RADIOACTIVE MOLYBDENUM-Mo93-Mo99**  
**FOR STUDY OF MINERAL ESSENTIAL FOR PLANT NUTRITION**



চিত্র 2.4 : উদ্ভিদ-পুষ্টিতে ধনিজের ভূমিকা পরীক্ষা।

**ট্রেসারের তালিকা—**ট্রেসারের বহুযুখী প্রয়োগ উপরে আলোচিত হইয়াছে। কৃষি মৌলগুলি ও ইউরেনিয়ামোনের মৌলগুলির আবিষ্কার এবং উৎপাদন ট্রেসার প্রযুক্তির সর্বাঙ্গিক চমকপ্রদ প্রয়োগ (ষষ্ঠ পরিচ্ছেদ)। বিয়ল-শুষ্ক মৌলপ্রণীর পারস্পরিক পৃথকীকরণ ট্রেসার প্রযুক্তির প্রয়োগের আর এক উজ্জ্বল দৃষ্টান্ত।

নিম্নের তালিকায় বহুল ব্যবহৃত ট্রেসারগুলির বিশিষ্ট ধর্মগুলি লিপিবদ্ধ করা হইল।

সারণী 2.1 : সাধারণ ব্যবহৃত তেজস্ক্রিয় ট্রেসার

আইসোটোপের নাম	সংকেত	অর্ধায়ুকাল	গড় শক্তি	
			$\beta$ (Mev)	$\gamma$ (Mev) †
ট্রিসিয়াম	$^3\text{H}$	12.26 বছর	0.0186	—
কার্বন	$^{14}\text{C}$	5720 বছর	0.155	—
সোডিয়াম	$^{24}\text{Na}$	15 ঘণ্টা	1.39	1.368, 2.753
ফসফরাস	$^{32}\text{P}$	14.3 দিন	1.71	—
সালফার	$^{35}\text{S}$	87 দিন	0.167	—
ক্লোরিন	$^{36}\text{Cl}$	$3 \times 10^5$ বছর	0.714	—
পটাসিয়াম	$^{40}\text{K}$	12.36 ঘণ্টা	3.55, 1.98	1.52
ক্যালসিয়াম	$^{45}\text{Ca}$	165 দিন	0.255	—
ম্যাঙ্গানিজ	$^{55}\text{Mn}$	2.58 ঘণ্টা	2.84, 1.03, 0.72	0.85
আয়রন	$^{59}\text{Fe}$	45 দিন	0.46, 0.27	1.10, 1.29
কোবাল্ট	$^{60}\text{Co}$	5.26 বছর	0.32	1.173, 1.333
জিঙ্ক	$^{65}\text{Zn}$	55 মিনিট	0.90	—
আর্সেনিক	$^{75}\text{As}$	26.8 ঘণ্টা	2.41, 2.97	0.559
ব্রোমিন	$^{80}\text{Br}$	35.3 ঘণ্টা	0.44	0.25
স্ট্রনশিয়াম	$^{90}\text{Sr}$	29 বছর	0.54	—
আয়োডিন	$^{131}\text{I}$	8.06 দিন	0.60	0.364
সিলভার	$^{110}\text{Ag}$	24 সেকেন্ড	2.21, 2.87	—
গোল্ড	$^{198}\text{Au}$	2.70 দিন	0.96	0.412
বিসমাথ	$^{210}\text{Bi}$	5.01 দিন	1.16	—

† † 1 Mev = 10 লক্ষ ইলেকট্রন-ভোল্ট (পরিচ্ছেদ 8 ; পরিভাষা অষ্টক)

### তেজস্ক্রিয়তা-সংক্রান্ত অনুশীলনী \*

উদাহরণ ১। 1 গ্রাম  $\text{Th-232}$  হইতে 1 বৎসরে কয়টি  $\alpha$ -বিভাজন হইবে? ( $\text{Th-232}$  এর বিভাজন-স্থলক,  $\lambda = 1.58 \times 10^{-18}$  সেকেন্ড $^{-1}$ )।  
ইহার সক্রিয়তা কত?

মনে কর, প্রারম্ভিক কেন্দ্রক সংখ্যা =  $N_0$ ,

এবং 1 বৎসর পরে কেন্দ্রক সংখ্যা =  $N$

1 বৎসরে বিভাজনের পরিমাণ =  $\Delta N = N_0 - N$

=  $N_0 - N_0 \exp(-\lambda t) = N_0 [1 - \exp(-\lambda t)] = N_0 \lambda t$

\* এই অনুশীলনী ছাত্রছাত্রীদের আলোচনা বিষয়ের জ্ঞানের গভীরতা-বৃদ্ধির সহায়তা করিবে।  
স্বাভাবিক পর্যায়ে এই বিষয়ের পটভূমিকা অধিকতর উজ্জ্বল হইবে।

এখানে  $t =$  অতিক্রান্ত সময়  $= 1$  বছর  $= 3.15 \times 10^7$  সে.

$$\begin{aligned} \text{এখন } \lambda t &= 1.58 \times 10^{-11} \times 3.15 \times 10^7 \text{ সেকেন্ড} \\ &= 5 \times 10^{-11} \end{aligned}$$

1 গ্রাম Th-232 এর কেন্দ্রক সংখ্যা,  $N$

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{অ্যাভোগ্যাড্রো সংখ্যা}}{\text{পারমাণবিক গুরুত্ব}} \\ &= \frac{6.02 \times 10^{23} \text{ পরমাণু/মোল}}{232 \text{ গ্রাম/মোল}} \\ &= 2.60 \times 10^{21} \text{ পরমাণু বা কেন্দ্রক/গ্রাম} \end{aligned}$$

সূচনার  $N_0 = 2.60 \times 10^{21}$

$$\begin{aligned} \Delta N &= N_0 \lambda t = (2.60 \times 10^{21}) \times (5 \times 10^{-11}) \\ &= 13 \times 10^{10} \text{ কেন্দ্রক} \end{aligned}$$

অর্থাৎ 1 বৎসরে 1 গ্রাম Th-232 হইতে  $13 \times 10^{10} \alpha$ -বিভাজন হইবে।

1 গ্রাম Th-232 এর সক্রিয়তা

$$\begin{aligned} &= \lambda N_0 = (1.58 \times 10^{-11} \text{ সেকেন্ড}^{-1}) (2.60 \times 10^{21} \text{ কেন্দ্রক}) \\ &= 4.1 \times 10^9 \text{ বিভাজন প্রতি সেকেন্ডে} \\ &= \frac{4.1 \times 10^9}{3.7 \times 10^{10}} \text{ কুরী} = 0.11 \times 10^{-1} \text{ কুরী} = 0.11 \text{ মাইক্রোকুরী।} \end{aligned}$$

**উদাহরণ ২।** রেডিয়াম-226 তেজস্ক্রিয় বিকিরণের ফলে রেডন-222 ( $T_{1/2} = 1620$  বছর) ও পরে পোলোনিয়াম-218 ( $T_{1/2} = 3.82$  দিন) উৎপন্ন হয়। একটি বিশুদ্ধ রেডিয়াম-226 নমুনাতে রেডনের কয়টি অর্ধায়ুস্ফাল উদ্ভীর্ণ হইলে ইহার শতকরা 99 ভাগ সাম্যাবস্থায় উপনীত হইবে?

দুহিতা পরমাণুর (daughter atom) সংখ্যা,

$$N_b = N_a \cdot \frac{\lambda_a}{\lambda_b} \text{ যেখানে } N_a \text{ জনক (parent) পরমাণুর সংখ্যা ;}$$

$\lambda_a$  ও  $\lambda_b$  ইহাদের বিভাজন-ধ্রুবক ;



যদি  $\lambda_b \gg \lambda_a$ ,  $N_b(t) = N_a \cdot \frac{\lambda_a}{\lambda_b} [1 - \exp(-\lambda_b t)]$

অনন্ত সময়ে,  $N_b(\infty) = N_a \cdot \frac{\lambda_a}{\lambda_b}$

$$\therefore \frac{N_b(t)}{N_b(\infty)} = 1 - \exp(-\lambda_b t) = \frac{99}{100}$$

অর্থাৎ  $\exp(-\lambda_b t) = \frac{1}{100}$

$$\therefore t = \frac{1}{\lambda_b} \cdot \log 100 = \frac{T_{1/2}}{\log 2} \cdot \log 100$$

অতিদ্রুত অর্ধায়ুসময় :

$$\frac{t}{T_{1/2}} = \frac{\log 100}{\log 2} = 6.64.$$

**উদাহরণ ৩।** একটি প্রস্তরখণ্ডে  $5 \times 10^{-5}$  মিলিলিটার হিলিয়াম (প্রমাণ তাপ ও চাপে) এবং গ্রাম-প্রতি  $3 \times 10^{-7}$  গ্রাম ইউরেনিয়াম পাওয়া যায়। প্রস্তরখণ্ডটির বয়স নির্ণয় কর।

প্রমাণ তাপ ও চাপে  $6.02 \times 10^{23}$  হিলিয়াম পরমাণু  
 $= 22,400$  c.c. হিলিয়াম

মনে কর, হিলিয়াম পরমাণু  $= x$

$$\frac{6.02 \times 10^{23}}{22,400 \text{ c.c.}} = \frac{x}{5 \times 10^{-5} \text{ c.c.}}$$

$$x = 1.34 \times 10^{15} \text{ পরমাণু}$$

ভেজেন্ডির ইউরেনিয়াম মৌলশ্রেণীর একটি ইউরেনিয়াম (-238) পরমাণু হইতে মোট 8টি  $\alpha$ -কণা নিঃসৃত হইয়া লেড-206-এ (রেডিয়াম-G) রূপান্তরিত হয়।

ব্যবহৃত বা কল্পপ্রাপ্ত ইউরেনিয়াম পরমাণু

$$\frac{1.34 \times 10^{15}}{8} = 1.67 \times 10^{14}$$

মনে কর, অবশিষ্ট ইউরেনিয়াম পরমাণু =  $y$

$$\frac{238 \text{ গ্রাম ইউরেনিয়াম}}{6.02 \times 10^{23} \text{ ইউরেনিয়াম পরমাণু}} = \frac{3 \times 10^{-7} \text{ গ্রাম}}{y}$$

$$\therefore y = \frac{(3)(6.02 \times 10^{23})(10^{-7})}{2.38 \times 10^3} = 7.59 \times 10^{14} \text{ পরমাণু}$$

$$\therefore \text{আদি ইউরেনিয়াম পরমাণু} = 1.67 \times 10^{14} + 7.59 \times 10^{14} \\ = 9.26 \times 10^{14}$$

ইউরেনিয়ামের  $(-238)$  অর্ধায়ুকাল =  $4.51 \times 10^9$  বছর

$$\text{বিভাজন, ধ্রুবক } \lambda = \frac{0.693}{4.51 \times 10^9} = 1.54 \times 10^{-10}$$

যদি  $N$  = নির্দিষ্ট সময়ে (  $T$  বছর ) পরমাণু সংখ্যা

এবং  $N_0$  = আদি পরমাণু সংখ্যা,

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda T = \ln \frac{7.59 \times 10^{14}}{9.26 \times 10^{14}}$$

$$\therefore T = \frac{1}{\lambda} \cdot \ln \frac{9.26}{7.59} = \frac{1}{1.54 \times 10^{-10}} \cdot 2.303$$

$$(\log 9.26 - \log 7.59)$$

$$= \frac{2.303(0.9666 - 0.8802)}{1.54 \times 10^{-10}} = 1.29 \times 10^9 \text{ বছর}$$

$$\therefore \text{প্রস্তরখণ্ডটির বয়স} = 1.29 \times 10^9 \text{ বছর।}$$

**উদাহরণ ৪।** একটি খনিজের Pb-206 : Pb-207 = 14 ;  
খনিজটি Pb-204 হইতে মুক্ত। ইহার বয়স নির্ণয় কর। ( U-238  
এর  $T_{1/2} = 4.51 \times 10^9$  বছর ; U-235 এর  $T_{1/2} = 7.07 \times 10^9$   
বছর )

$$\text{আমরা জানি } \frac{U-238}{U-235} = \frac{139}{1} \quad \dots \quad (1)$$

মনে কর U-238 ভৌমিক শ্রেণীর Pb-206 সৃষ্টির জন্য প্রারম্ভিক  
পরমাণুর ভায়াংশ ( $N_0$ ) =  $X_1$  এবং U-235 এর,  $X_2$  ( Pb-207 এর  
জন্য )

$$U-238 \text{ শ্রেণীর } \lambda_1 = \frac{0.693 \times 10^{-1}}{4.51 \times 10^9} = 1.54 \times 10^{-10} / \text{বছর}$$

$$\dots \quad (2)$$

$$U-235 \text{ প্রণীর } \lambda_1 = \frac{6.93 \times 10^{-1}}{7.07 \times 10^8} = 9.82 \times 10^{-10} / \text{বছর} \quad \dots \quad (3)$$

U-238 তেজস্ক্রিয় প্রণীর ;

$$\begin{aligned} \ln \frac{N_1}{(N_0)_1} &= -\lambda_1 T \text{ অথবা } \ln \frac{139/140}{139/140 + X_1} \\ &= \ln \frac{0.9929}{0.9929 + X_1} = -1.54 \times 10^{-10} T \dots \quad (4) \end{aligned}$$

U-235 তেজস্ক্রিয় প্রণীর ;

$$\begin{aligned} \ln \frac{N_2}{(N_0)_2} &= -\lambda_2 T \text{ অথবা } \ln \frac{1/140}{1/140 + X_2} \\ &= \ln \frac{0.0071}{0.0071 + X_2} = -9.82 \times 10^{-10} T \dots \quad (5) \end{aligned}$$

$$\text{এখন } \frac{X_1}{X_2} = 14 \quad \therefore X_2 = \frac{X_1}{14}$$

$$\begin{aligned} \text{সুতরাং } \ln \frac{N_2}{(N_0)_2} &= \ln \frac{0.0071}{0.0071 + \frac{X_1}{14}} = -9.82 \times 10^{-10} T \\ &\dots \quad (6) \end{aligned}$$

সমীকরণ (4) ও (6) হইতে

$$\frac{0.9929}{0.9929 + X_1} = e^{-1.54 \times 10^{-10} T}$$

$$\text{অর্থাৎ } \frac{0.9929}{e^{-1.54 \times 10^{-10} T}} - 0.9929 = X_1 \quad \dots \quad (7)$$

$$\text{আবার, } \frac{0.0071}{0.0071 + \frac{X_1}{14}} = e^{9.82 \times 10^{-10} T}$$

$$\text{অর্থাৎ } \frac{0.0994}{e^{-9.82 \times 10^{-10} T}} - 0.0994 = X_1 \quad \dots \quad (8)$$

উপপ্রাপ্ত সমীকরণ-দুইটির সমাধান করিবার জন্য স্থূল বা আসন্ন মান ব্যবহার করা প্রয়োজন। সমী. (7) ও (8) হইতে আমরা পাই

$$\begin{aligned} 0.9929 e^{-1.54 \times 10^{-10} T} &= 0.9929 \\ &= 0.9994 e^{-9.8 \times 10^{-10} T} - 0.0994 \\ \text{অর্থাৎ } 0.9929 e^{-1.54 \times 10^{-10} T} &= 0.9994 e^{-9.8 \times 10^{-10} T} \\ &= 0.8935 \end{aligned}$$

ইহা হইতে  $T$  (স্থূলতঃ)  $= 1 \times 10^9$  বছর

অতএব খনিজটির বয়স  $= 1 \times 10^9$  বছর

উদাহরণ ৫।  $25^\circ$  সে. ও  $-196^\circ$  সে. তাপে ধার্মাল নিউট্রনের গড় শক্তি (ইলেকট্রন ভোল্ট) কত?

আমরা জানি, ধার্মাল নিউট্রনের শক্তি তাপের (পরম তাপ, Absolute temperature,  $^\circ A$ ) আনুপাতিক এবং শূন্য ডিগ্রী সে. বা  $273^\circ A$  তাপে গড় শক্তি  $= 0.035$  ইলেকট্রন-ভোল্ট (ev)

$$25^\circ \text{ সে. তাপে, } \frac{0.035}{273} = \frac{X}{273 + 25} = \frac{X}{298}$$

$$\text{অর্থাৎ } X = 0.038 \text{ ev}$$

$$-196^\circ \text{ সে. বা } 77^\circ A \text{ তাপে, } \frac{0.035}{273} = \frac{X'}{77}$$

$$\text{অর্থাৎ } X' = 0.0099 \text{ ev}$$

উদাহরণ ৬। একটি পরমাণু-চুল্লীতে এক খণ্ড সোনার পাত্রে ৫ ঘণ্টা নিউট্রন সম্পাত করা হইল। তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ গঠনের হার ধ্রুবক অর্থাৎ প্রতি সেকেন্ডে  $10^9$  পরমাণু এবং ইহার অর্ধায়ুসময়  $T_{1/2} = 2.69$  দিন। সোনার পাত্রটিতে কতটা সক্রিয়তা সঞ্চারিত হইল?

$$\text{বিভাজন-ধ্রুবক, } \lambda = \frac{0.693}{2.69 \times 24 \text{ ঘণ্টা}}$$

$$\text{সক্রিয়তা} = \lambda N = R[1 - \exp(-\lambda t)]$$

যেখানে  $R$  = সম্পূর্ণ সক্রিয়তা

$$\begin{aligned}
 &= 10^9 [1 - \exp(-\lambda t)] = 10^9 \left[ 1 - \exp \frac{-0.693 \times 5}{2.69 \times 24} \right] \\
 &= 10^9 [1 - \exp(-0.0537)] \\
 &= 10^9 (1 - 0.948) = 5.2 \times 10^7 \text{ বিভাজন প্রতি সেকেন্ডে} \\
 &= \frac{5.2 \times 10^7}{3.7 \times 10^{10}} \text{ কুরী} = 1.4 \text{ মিলিকুরী।}
 \end{aligned}$$

**উদাহরণ ৭।** ০.০৩ সেন্টিমিটার ঘন একটি কোবাল্ট-৫৯ পাত প্রতি সেকেন্ডে প্রতি বর্গ-সেন্টিমিটারে  $10^{12}$  নিউট্রনপ্রবাহে দুই ঘণ্টাকাল অবগাহন করা হইল। কোবাল্ট-৫৯ এর নিউট্রনের জন্য প্রস্থচ্ছেদ = ৩০ বার্ন (barn)। দুই ঘণ্টার পর কতকগুলি কোবাল্ট-৬০ কেন্দ্রক উৎপন্ন হইবে? কোবাল্ট পাতটির  $\beta$ -সক্রিয়তা কত হইবে? (কোবাল্ট-৬০ এর  $T_{1/2} = 5.2$  বছর; কোবাল্টের ঘনত্ব = ৮.৭ গ্রাম/সেন্টিমিটার<sup>৩</sup>)।

ক্ষেপণক ক্ষেত্রফলের প্রতি এককে কেন্দ্রক বিক্রিয়ার হার,  $r_A = n_A I \sigma$

$$\begin{aligned}
 \text{যেখানে } n_A &= \frac{\text{ক্ষেপণক কেন্দ্রকের মোট সংখ্যা}}{\text{মোট ক্ষেপণক ক্ষেত্রফল}} \\
 &= \frac{\text{কেন্দ্রক সংখ্যা} \times \text{ক্ষেপণক ক্ষেত্রফল} \times \text{ঘনতা}}{\text{ক্ষেপণক ক্ষেত্রফল}}
 \end{aligned}$$

$$= N_0 \cdot t ;$$

$$I = \text{নিউট্রন প্রবাহ} ;$$

$$\sigma = \text{প্রস্থচ্ছেদ (Cross-section)}$$

$$\text{এখন } r_A = (N_0 t) \cdot I \cdot \sigma = N \left( \frac{\rho}{M} \right) \cdot t \cdot I \cdot \sigma$$

$$= 6.03 \times 10^{23} \times \left( \frac{0.03}{59} \right) \times 0.03 \times 10^{12} \times$$

$$30 \times 10^{-28}$$

$$= 8.19 \times 10^{10} \text{ বিক্রিয়া প্রতি সেকেন্ডে প্রতি বর্গ-সেন্টিমিটারে।}$$

$$\begin{aligned}
 &\text{দুই ঘণ্টার মোট বিক্রিয়ার পরিমাণ, } R = 8.19 \times 10^{10} \times 2 \times 3600 \\
 &= 5.9 \times 10^{14} \text{ বিক্রিয়া প্রতি বর্গ-সেন্টিমিটারে।}
 \end{aligned}$$

প্রতি বর্গ-সেণ্টিমিটারে  $\beta$ -সক্রিয়তা

$$= \lambda \times 59 \times 10^{18} = \frac{0.693 \times 59 \times 10^{18}}{5.2 \text{ বছর}} \quad \left( \lambda = \frac{0.693}{T_{1/2}} \right)$$

$$= \frac{0.693 \times 59 \times 10^{18}}{5.2 \times 3.15 \times 10^7} \text{ বিভাজন প্রতি সেকেন্ডে}$$

$$= 2.5 \times 10^6 \text{ বিভাজন প্রতি সেকেন্ডে}$$

$$= \frac{2.5 \times 10}{3.7 \times 10^4} \text{ কুরী} = 67 \text{ মাইক্রোকুরী}$$

**উদাহরণ ৮।** ক্যাডমিয়াম-113 এর নিউট্রন অবশোষণের প্রস্থচ্ছেদ = 20,800 বার্ন। ইহার ঘনত্ব 8.67 গ্রাম/সেণ্টিমিটার<sup>৩</sup>। ইহার বৃহত্তর প্রস্থচ্ছেদ নির্ণয় কর। কী পরিমাণ ক্যাডমিয়াম-113 নিউট্রনপ্রবাহকে 1% হ্রাস করা জন্য প্রয়োজন ?

$$\text{বৃহত্তর প্রস্থচ্ছেদ} = N_0 \sigma = \frac{\rho}{M} \cdot N \cdot \sigma$$

$$= \frac{8.67}{113} \times 6.03 \times 10^{23} \times 20,800 \times 10^{-24} \text{ প্রতি বর্গ-সেণ্টিমিটারে}$$

$$= 962 \text{ প্রতি বর্গ-সেণ্টিমিটারে}$$

যদি নিউট্রনপ্রবাহের প্রারম্ভিক প্রগাঢ়তা  $I_0$  ক্যাডমিয়াম পাতের  $x$  দূরত্ব অতিক্রম করার ফলে হ্রাস পাইয়া  $I$ -তে পরিণত হয় এবং লক্ষ্যবস্তুর প্রতি সেণ্টিমিটারে কেন্দ্রক সংখ্যা  $n$ ,

$$I = I_0 e^{-n\sigma x}$$

$$\log \frac{I}{I_0} = \frac{-n \sigma x}{2.303}$$

$$\text{অর্থাৎ } \log \frac{I_0}{I} = \frac{n \sigma x}{2.303}$$

$$\text{অর্থাৎ } \log 100 = \frac{8.67}{113} \times \frac{6.023 \times 10^{23}}{2.303} \times 20,800 \times 10^{-24} \times x$$

$$\text{অর্থাৎ } x = 0.0048 \text{ সেণ্টিমিটার}$$

**উদাহরণ ৯।** 0.100 মিলিগ্রাম প্লুটোনিয়াম-239 ( $\alpha$ -বিকিরণকারী) হইতে প্রতি মিনিটে  $1.40 \times 10^7$  বিভাজন লক্ষ্য করা গেল। ইহার অর্ধায়ুকাল নির্ণয় কর।

নেপচুনিয়াম-239 এর তেজস্ক্রিয় দৃহিতা প্লুটোনিয়াম-239 ; 0.100 মিলিগ্রাম প্লুটোনিয়াম-239 এর জন্য কত পরিমাণ (রাদারফোর্ড) নেপচুনিয়াম-239 প্রয়োজন ?

$$0.1 \text{ মিলিগ্রাম} = 10^{-4} \text{ গ্রাম}$$

$$10^{-4} \text{ গ্রাম প্লুটোনিয়াম-239} = \frac{(10^{-4})(6.02 \times 10^{23})}{239} \text{ পরমাণু}$$

$$= 2.52 \times 10^{17} \text{ পরমাণু}$$

$$\text{আমরা জানি, সক্রিয়তা} - \frac{dN}{dT} = \lambda N$$

$$\text{অথবা } \lambda = -\frac{dN}{dT} \cdot \frac{1}{N} = \frac{1.40 \times 10^7}{2.52 \times 10^{17}}$$

$$= 5.55 \times 10^{-11} / \text{মিনিট}$$

$$\text{আবার, } \lambda = \frac{0.693}{T_{1/2}}$$

$$\text{বা } T_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda} = \frac{0.693}{5.55 \times 10^{-11}} = 1.25 \times 10^{10} \text{ মিনিট}$$

$$= 2.42 \times 10^4 \text{ বছর}$$

$$\text{নেপচুনিয়াম-239 এর ক্ষেত্রে } \lambda_{Np} = \frac{0.693}{(T_{1/2})_{Np}} = \frac{0.693}{1.98 \times 10^5 \text{ সে.}}$$

$$\text{বা } \lambda_{Np} = 3.50 \times 10^{-6} / \text{সেকেন্ড}$$

$$\text{এবং } -\left(\frac{dN}{dT}\right)_{Np} = (3.50 \times 10^{-6})(2.52 \times 10^{17})$$

$$= 8.81 \times 10^{11} \text{ পরমাণু/সেকেন্ড}$$

$$= \frac{8.81 \times 10^{11}}{10^6} \text{ রাদারফোর্ড}$$

$$= 8.81 \times 10^5 \text{ রাদারফোর্ড (rd) নেপচুনিয়াম-239}$$

**উদাহরণ ১০।** একটি আরোডিন (-127) এর নমুনাতে এক ঘণ্টা-কাল সাইক্লোট্রন উত্তেজিত নিউট্রন সম্পাত করা হইল। ইহার 15 মিনিট পরে আরোডিন-128 এর 3.5 রাদারফোর্ড সক্রিয়তা পর্যবেক্ষণ করা গেল।

নিউট্রন সম্পাতকালীন আরোডিন-128 এর জননের হার নির্ণয় কর।  
( $T_{1/2}$ , I-128 = 25 মিনিট)।

$$3.5 \text{ রাদারফোর্ড} = 3.5 \times 10^8 \text{ বিভাজন/সেকেন্ড}$$

$$\text{আরোডিন-128 এর } T_{1/2} = 25 \text{ মিনিট} = 1500 \text{ সেকেন্ড}$$

$$\therefore \text{বিভাজন-ধ্রুবক } \lambda = \frac{0.693}{1.5 \times 10^3} = 4.62 \times 10^{-4} / \text{সেকেন্ড}$$

$$\begin{aligned} \text{এখন } -\frac{dN}{dT} &= \lambda N \quad \text{অথবা } 3.5 \times 10^8 / \text{সেকেন্ড} \\ &= (4.62 \times 10^{-4}) / \text{সে.} \times N \end{aligned}$$

$$\text{অথবা } N = \frac{3.5 \times 10^8 / \text{সে.}}{4.62 \times 10^{-4} / \text{সে.}} = 7.57 \times 10^9$$

নিউট্রন সম্পাতের অন্তে 15 মিনিট পরে (900 সেকেন্ড) আরোডিন-128 এর পরমাণু সংখ্যা =  $7.57 \times 10^9$

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda T \quad \text{অর্থাৎ } \frac{N}{N_0} = e^{-\lambda T}$$

$$\text{অর্থাৎ } \frac{7.57 \times 10^9}{N_0} = e^{-(4.62 \times 10^{-4})(900)}$$

$$\begin{aligned} \text{অর্থাৎ } N_0 &= \frac{7.57 \times 10^9}{e^{-0.4158}} = 7.57 \times 10^9 \times e^{0.4158} \\ &= 1.08 \times 10^{10} \text{ পরমাণু} \end{aligned}$$

$$\text{আবার, } N = \frac{R}{\lambda} (1 - e^{-\lambda T}), \text{ এখানে } T = 1 \text{ ঘণ্টা} = 3600 \text{ সেকেন্ড}$$

$$\begin{aligned} \text{অর্থাৎ } R &= \frac{N \cdot \lambda}{1 - e^{-\lambda T}} = \frac{(1.08 \times 10^{10})(4.62 \times 10^{-4})}{1 - e^{-(4.62 \times 10^{-4})(3600)}} \\ &= 6.56 \times 10^8 \text{ পরমাণু/সেকেন্ড} \end{aligned}$$

$$\therefore \text{আরোডিন-128 এর প্রজনন হার} = 6.56 \times 10^8 \text{ পরমাণু/সেকেন্ড।}$$

**উদাহরণ ১১।** একটি ইউরেনিয়াম (প্রকৃতিজ) পরমাণু-চুল্লীতে 50,000 কিলোগ্রাম প্রকৃতিজ ইউরেনিয়াম আছে যার মধ্যে শতকরা 0.7



অঙ্গ বিখণ্ডনপ্রবণ ইউরেনিয়াম-235 থাকে। পরমাণু-চুল্লীর নিউট্রন-প্রবাহ  $10^{18}$  নিউট্রন প্রতি বর্গ-সেণ্টিমিটারে প্রতি সেকেন্ডে এবং ইউরেনিয়াম-235 এর বিখণ্ডন প্রস্থচ্ছেদ = 580 বার্ন। এক বছরে শেঘোক্ত আইসোটোপের কত ভগ্নাংশ দহু বা ক্ষয়প্রাপ্ত হইবে?

এক বছরে ক্ষয়প্রাপ্ত বা দহু ইউরেনিয়াম-235 কেন্দ্রক সংখ্যা = এক বছরে বিখণ্ডন প্রাপ্ত ইউরেনিয়াম-235 কেন্দ্রক সংখ্যা।

অতএব, এক বছরে বিখণ্ডন বিক্রিয়া = প্রতি সেকেন্ডে বিখণ্ডন বিক্রিয়ার  
গতি  $\times 3.15 \times 10^7$  সে./বছর  
 $= V \Sigma_f \phi \times 3.15 \times 10^7 = V N_0 \sigma_f \phi \times 3.15 \times 10^7$

এখানে  $V$  = বিক্রিয়া মাধ্যমের আয়তন

$\Sigma_f$  = বিখণ্ডন প্রস্থচ্ছেদ

এবং  $\phi$  = নিউট্রনপ্রবাহের হার

$N_0$  = প্রারম্ভিক পরমাণু বা কেন্দ্রক সংখ্যা।

$$\begin{aligned} & \text{ক্ষয়প্রাপ্ত জ্বালানী বা ইউরেনিয়ামের ভগ্নাংশ} \\ &= \frac{V N_0 \sigma_f \phi \times 3.15 \times 10^7}{V N_0} \end{aligned}$$

$$= 3.15 \times 10^7 \times \sigma_f \times \phi$$

$$= 3.15 \times 10^7 \times 580 \times 10^{-24} \times 10^{18}$$

$$= 1.83 \times 10^{-2}$$

অতএব বার্ষিক বিখণ্ডন জনিত ক্ষয়ের মাত্রা = 1.83%।

### অনুশীলনী

১। রেডিয়ামের ( $T_{1/2} = 1590$  বছর) বিভাজন 1% এ পরিণত হইতে কত বছর সময় লাগিবে?

২। 1 মিলিগ্রাম সাধারণ ইউরেনিয়ামে ইউরেনিয়াম-I ( $T_{1/2} = 4.51 \times 10^8$  বছর) এর সক্রিয়তা নির্ণয় কর।

৩। একটি 1 গ্রাম ইউরেনিয়াম-238 এর প্রাকৃতিক আকরিকের সঙ্গে সাম্যাবস্থার কত পরিমাণ পোলোনিয়াম-210 থাকিবে? ইউরেনিয়াম-238 ও

সোডোনিয়াম-210 এর অর্ধায়ুস্ফাল বৎসরসমে  $4.88 \times 10^{-10}$  সেকেণ্ড<sup>-1</sup> ও  $5.75 \times 10^{-8}$  সেকেণ্ড<sup>-1</sup>।

৪। 46.3 মিলিগ্রাম প্রকৃতিজ পটাসিয়ামের  $\beta$ -সক্রিয়তা = 1.5 বিভাজন/সেকেণ্ড। ইহাতে পটাসিয়াম-40 এর অনুপাত 0.012%। পটাসিয়াম-40 এর অর্ধায়ুস্ফাল নির্ণয় কর।

৫। বিসমাথ-212 হইতে  $\alpha$ - ও  $\beta$ -কণা নিঃসৃত হয়, শতকরা 34 ভাগ  $\alpha$ - ও 66 ভাগ  $\beta$ -। একটি সদ্য প্রস্তুত বিসমাথ-212 ( $10^{-8}$  গ্রাম) হইতে প্রারম্ভিক  $\alpha$ - ও  $\beta$ -সক্রিয়তা কত এবং 5 ঘণ্টা পরে এই সক্রিয়তা কত হইবে?

৬। একটি পরমাণু-চুল্লীতে ফস্ফরাস-32 এর প্রজনন হার  $5 \times 10^{10}$  পরমাণু/সেকেণ্ড। এই চুল্লীতে ফস্ফরাস-31 কে কতক্ষণ রাখার প্রয়োজন, যাহাতে ইহার সংপৃক্ত সক্রিয়তার 90% ভাগ ভেজস্কিরতা থাকে? ফস্ফরাস-32 এর অর্ধায়ুস্ফাল 14.5 দিন।

৭। একটি সম্বন্ধ ইউরেনিয়াম মিশ্রণে শতকরা 5 ভাগ ইউরেনিয়াম-235 পরমাণু আছে। ইহার থার্মাল বিখণ্ডন-প্রস্থচ্ছেদ নির্ণয় কর।

৮। একটি 2 বর্গ-সেণ্টিমিটার ও  $10^{-3}$  মিলিমিটার ঘন ইণ্ডিয়াম পাতকে ধ্রুবক শক্তিবিশিষ্ট নিউট্রন রশ্মি দ্বারা বিকীর্ণ করা হইল। নিউট্রন-প্রবাহের হার প্রতি সেকেণ্ডে প্রতি বর্গ-সেণ্টিমিটারে  $5 \times 10^9$  নিউট্রন এবং বৃহত্তর শোষণ প্রস্থচ্ছেদ 190 বার্ন। 3 মিনিট নিউট্রন সম্পাতে উপরোক্ত ইণ্ডিয়াম পাত কতকগুলি নিউট্রন শোষণ করিবে?

৯। একটি পরমাণু-চুল্লীতে প্রারম্ভিক জ্বালানীর পরিমাণ 2500 গ্রাম ইউরেনিয়াম-235। যদি গড়ে থার্মাল নিউট্রনপ্রবাহের মাত্রা প্রতি সেকেণ্ডে প্রতি বর্গ-সেণ্টিমিটারে  $4 \times 10^{13}$  নিউট্রন হয়, তবে কত সময়ে 5 গ্রাম জ্বালানী সম্পূর্ণরূপে দগ্ধ হইবে?

১০। 1.5 বর্গ-সেণ্টিমিটার ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট ও প্রতি বর্গ-সেণ্টিমিটারে 300-মিলিগ্রাম ঘনত্ববিশিষ্ট একটি সোনার পাত (গোল্ড-197) 1 ঘণ্টাকাল ব্যাপী প্রতি সেকেণ্ডে প্রতি বর্গ-সেণ্টিমিটারে  $10^{13}$  নিউট্রন দ্বারা বিকীর্ণ করা হইল। পরবর্তী পরীক্ষার দেখা গেল উক্ত প্রদ্রব্যের  $49 \times 10^{13}$  গোল্ড-198 সৃষ্ট হইয়াছে। গোল্ড-197 এর নিউট্রন-প্রস্থচ্ছেদ গণনা কর।

১১। 1 ওয়াট শক্তি উৎপন্ন করিতে ইউরেনিয়াম-235 এর বিখণ্ডন হার কত হওয়া উচিত? প্রতি বিখণ্ডনে 200 Mev শক্তি উৎপন্ন হয়। 1 কিলোগ্রাম ইউরেনিয়াম-235 সম্পূর্ণ বিখণ্ডিত হইলে কত মেগাওয়াট শক্তি উৎপন্ন হইবে? ( $1 \text{ Mev.} = 1.6 \times 10^{-6} \text{ erg}$ ; 1 মেগাওয়াট = 1 জুল (joule)/সেকেন্ড)।

১২। একটি ইউরেনিয়াম মিশ্রণে ইউরেনিয়াম-235 ও ইউরেনিয়াম-238 এর অনুপাত 1 : 10 হইলে বিখণ্ডনজাত প্রতি নিউট্রনে কতকগুলি নিউট্রন উক্ত সিস্টেমে শোষিত হইবে?

১৩। 10 মিলিগ্রাম অ্যালুমিনিয়াম পাত 30 মিনিটকাল, প্রতি সেকেন্ডে প্রতি বর্গ-সেটিমিটারে  $5 \times 10^{11}$  নিউট্রনপ্রবাহ দ্বারা বিকীর্ণ করা হইল। গণনা-যন্ত্রে পরিমাপ করার আগে নমুনাটিকে কতক্ষণ “শীতল” করার প্রয়োজন, বাহাতে উহার সক্রিয় আইসোটোপের সক্রিয়তা প্রতি মিনিটে 1 বিভাজনের অপেক্ষা কম হয়?

১৪। একটি অ্যালুমিনিয়াম সংকর ধাতুতে নিম্নলিখিত উপাদান আছে—  
শতকরা 0.30 ভাগ Cu, 0.30 ভাগ Mn, 0.59 ভাগ Ni ও 0.0053 ভাগ Co। 10 মিলিগ্রাম নমুনাতে পৃথক পৃথক ভাবে কতক্ষণ নিউট্রন সম্প্রদায়ের প্রয়োজন বাহাতে উক্ত ধাতুগুলি নির্গত করা সম্ভব হয়? 7 দিন শীতল করার পর সক্রিয়তা প্রতি মিনিটে 10,000 বিভাজন হওয়া বাঞ্ছনীয়। নিউট্রনপ্রবাহ = প্রতি সেকেন্ডে প্রতি বর্গ-সেটিমিটারে  $5 \times 10^{11}$  নিউট্রন।

১৫। 50 মিলিলিটার মাপক কুপীতে 10 মিলিলিটার ক্লোরাইড দ্রবণ লও এবং সিলভার-110 যুক্ত 10 মিলিমিটার 0.044 N সিলভার নাইট্রেট দ্রবণ দ্বারা অধঃক্ষেপণ কর। অধঃক্ষেপ তণ্ডনের (coagulation) পর মাপক-কুপীতে দ্রবণ মাত্রা পর্যন্ত ভর্তি কর এবং ভালোভাবে মিশিয়ে দাও। স্বচ্ছ দ্রবণ হইতে 20 মিলিলিটার অংশ লইয়া পরিস্ফারণ বা অপকেন্দ্রণের পর সক্রিয়তা-গণনা করিলে মিনিটে 924 বিভাজন দেখা যায়। প্রমাণ সিলভার দ্রবণের 5 মিলিলিটার 20 মিলিলিটার পর্যন্ত লঘুকরণ (dilution) করিলে মিনিটে 7555 বিভাজন পাওয়া যায়। পটভূমির সক্রিয়তা (background activity) = 100 বিভাজন/মিনিট। অজ্ঞাত দ্রবণটির ক্লোরাইড আয়নের গাঢ়তা হিসাব কর।

১৬। 10 মিলিগ্রাম  $\text{BaSO}_4$  অধঃক্ষেপের মধ্যে 0.1 মাইক্রোকুরী S-35 আছে। অধঃক্ষেপটির কত ভগ্নাংশের মধ্যে S-35 আছে?

১৭। এক অশোধিত বেন্‌জোয়িক অ্যাসিড-বেন্‌জোয়েট মিশ্রণের মধ্যে 40 মিলিগ্রাম C-14 চিহ্নিত বেন্‌জোয়িক অ্যাসিড যোগ করা হইল (সক্রিয়তা = 2000 বিভাজন/মিনিট)। মিশ্রণটিকে সাম্যাবস্থার আনার পর অল্পবৃত্ত করা হইল এবং এক অমিশ্রণীয় দ্রাবকের দ্বারা নিষ্কাশন করা হইল। নিষ্কাশিত কঠিন পদার্থকে পুনঃকেলাসন পদ্ধতিতে শোধন করার পর দ্রবক গলনাঙ্ক দেখা গেল। এই শুদ্ধ যৌগিক পদার্থের ওজন 60 মিলিগ্রাম এবং সক্রিয়তা 500 বিভাজন/মিনিট। অশোধিত মিশ্রণে বেন্‌জোয়িক অ্যাসিডের পরিমাণ হিসাব কর।

১৮। একটি প্রস্তরখণ্ডে  $1 \times 10^{-6}$  মিলিলিটার হিলিয়াম (প্রমাণ তাপ ও চাপে) এবং প্রতি গ্রাম নমুনার  $10^{-8}$  গ্রাম ইউরেনিয়াম পাওয়া গেল। প্রস্তরখণ্ডটির বরস গণনা কর। পদ্ধতিটির নির্ভুলতা সম্বন্ধে মন্তব্য কর।

১৯। 0.1000 গ্রাম AgBr অধঃক্ষেপে 1 মিলিকুরী Br-82 আছে। AgBr এর দ্রাব্যতা গুণফল  $= 7.4 \times 10^{-13}$ । 10 মিলিলিটার AgBr এর সম্পৃক্ত দ্রবণে সক্রিয়তা নির্ণয় কর। (Br-82-এর অর্ধায়ুকাল = 34 ঘণ্টা)।

২০।  $148.8 \times 10^6$  কিলোমিটার দূরত্ব হইতে সূর্যকিরণ ভূপৃষ্ঠে প্রতি সেকেন্ডে প্রতি বর্গ-সেন্টিমিটারে 0.135 জুল (Joule) তাপ বিকীর্ণ করে। সৌরশক্তির উৎস হিসাবে ধরা যায়  $\text{H} \rightarrow \text{He}$  রূপান্তর। কী হারে হাইড্রোজেন দহ্য হইতেছে (গ্রাম পরিমাণ/সেকেন্ড)?

প্রাসঙ্গিক গ্রন্থ, প্রবন্ধাদি :

1. G. Friedlander, J. W. Kennedy and J. M. Miller—"Nuclear & Radiochemistry", 2nd ed., Wiley, N. Y. (1964)

2. R. E. Lapp and H. L. Andrews—"Nuclear Radiation Physics", 2nd ed., Prentice-Hall, N. Y. (1954)

3. G. R. Choppin—"Experimental Nuclear Chemistry", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J. (1961)
4. W. S. Lyon, Jr. (ed.)—"Guide to Activation Analysis". Van. Nostrand, Princeton, N. J. (1964)
5. S. E. Liverhant—"Elementary Introduction to Nuclear Reactor Physics", Wiley, N. Y (1960)
6. R. T. Overman and H. M. Clark—"Radioisotope Techniques", McGraw Hill, N. Y. (1959)
7. H. H. Willard, L. L. Merritt, Jr. and J. A. Dean—"Instrumental Methods of Analysis", Van Nostrand, Princeton, N. J., 4th ed. (1965)

### ৩। নিরুদ্দেশ মৌলগুলি ( The Missing Elements )

পৰ্বান্ন-সারণীৰ মৌল 1 ( হাইড্রোজেন ) ও মৌল 92 ( ইউরেনিয়াম )  
এৰ মধ্য বহুকাল বাবে চারটি শূন্যস্থান ছিল—মৌল 43, 61, 85 ও 87-এৰ  
জন্য। প্রাকৃতিক আকাবে ইহাদের অভিস্রব সম্ভবজনক ছিল এবং পৰ্বান্ন-  
সারণীতে নির্দিষ্ট স্থান থাকা সত্ত্বেও ইহাদের পরিচয় অজ্ঞাত ছিল। দীৰ্ঘকাল

[illegible]

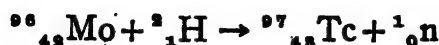
চিত্র 3.1 : পর্যায়-সারণীতে নিরুদ্দেশ মৌলগুলির অবস্থান।

ইহাদের অনুসন্ধান চলিল। শেষে বিংশ শতাব্দীর চতুর্থ দশকে ইহারা একে একে আবিষ্কৃত হইল কৃত্রিম মৌল (Synthetic elements) হিসাবে গবেষণাগারে। ইহারা প্রত্যেকেই তেজস্ক্রিয়।

### ৩.১ মৌল ৪৩: টেকনিশিয়াম (Technetium)

ইতালীর পদার্থবিজ্ঞানী সেগ্রে ও পেরিয়ের (E. Se'gre' and C. Perrier) 1937 সালে প্রথম মৌল 43 আবিষ্কার করিয়াছিলেন। ক্যালিফোর্নিয়া বিশ্ববিদ্যালয়ে একটি মলিব্‌ডেনাম লক্ষ্যবস্তুকে উন্নততরন রশ্মি দ্বারা আঘাত করার পর সেগ্রে ও পেরিয়েরের কাছে পাঠানো হইল। তাঁহারা ইহা

হইতে এক রাসায়নিক অংশ পৃথক করিলেন বাহার ধর্ম অন্যান্য মৌল হইতে স্বতন্ত্র ।

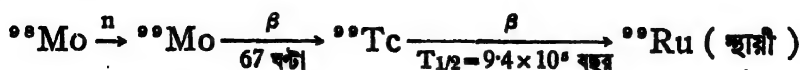


ইহার রাসায়নিক ধর্ম সপ্তম শ্রেণীর (group VII) রেনিয়ামের অনুরূপ কিন্তু ইহার পূর্ববর্তী মৌল ম্যাক্সানিজের সঙ্গে সাদৃশ্য কম । সেয়ে ইহার নাম দিলেন টেক্‌নিসিয়াম (Tc) ( গ্রীক শব্দ technikos = কৃত্রিম ) ।

উক্ত কেন্দ্রক বিক্রিয়াজ টেক্‌নিসিয়ামের অর্ধায়ুকাল 93 দিন এবং  $\beta$ -তেজস্ক্রিয়তা আছে । আরও কয়েকটি আইসোটোপ পরে প্রস্তুত হইয়াছে । তাহাদের মধ্যে উল্লেখযোগ্য  $^{99}\text{Tc}$  বাহার অর্ধায়ুকাল  $9.4 \times 10^5$  বছর ।

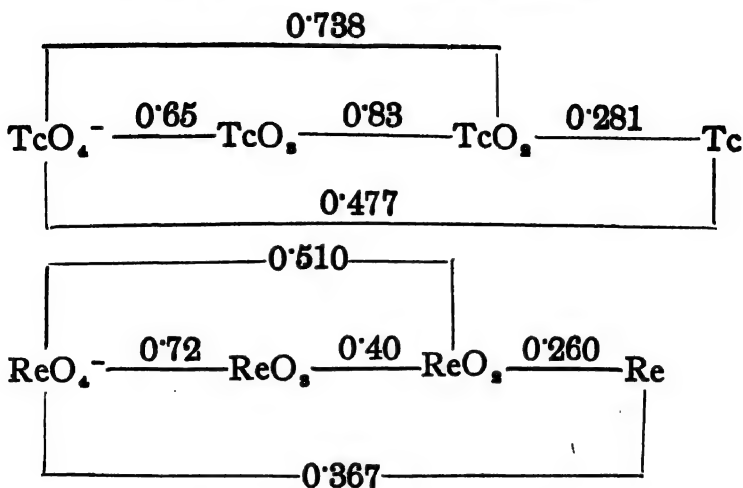
পারমাণবিক বিখণ্ডনের (fission) উপজাত মৌলদের অন্যতম টেক্‌নিসিয়াম ( উৎপাদন মাত্রা = 6.2% ) । ইহাই বর্তমানে টেক্‌নিসিয়ামের প্রধান উৎস । বিখণ্ডন-উপজাত মৌলদের সংমিশ্রণ হইতে থুটোনিয়াম ও ইউরেনিয়াম পৃথকীকরণের পর পারক্লোরেট আয়ন ( $\text{ClO}_4^-$ ) বাহকের সাহায্যে টেট্রাফিনাইল আর্স'নিয়াম পারটেক্‌নেটেট রূপে  $(\text{C}_6\text{H}_5)_4\text{AsTcO}_4$  অধঃক্ষেপ করা হয় । অধঃক্ষেপটিকে অ্যালকোহলে দ্রবীভূত করার পর দ্রবণকে অ্যানায়ন বিনিময়কারী রজনের ভিতর দিয়া চালনা করা হয় । পারটেক্‌নেটেট আয়ন অধিশোষিত (absorbed) হইবার পর 2N পারক্লোরিক অ্যাসিড দ্বারা রজন-স্তম্ভ (resin column) হইতে অপসারিত করা হয় । শেষে পারক্লোরিক অ্যাসিড দ্রবণ হইতে পাতিত করা (distilled) হয় । দ্রাবক নিষ্কাশন পদ্ধতি (solvent extraction) দ্বারা ( মিথাইল ইথাইল কিটোন দ্রাবক ) টেক্‌নিসিয়াম শোধন সম্ভবপর । 1 গ্রাম ইউরেনিয়াম-235 কে বিখণ্ডিত করিলে 26 মিলিগ্রাম টেক্‌নিসিয়াম ( $^{99}\text{Tc}$ ) উৎপন্ন করা যায় ।

আর একটি প্রস্তুত পদ্ধতি হইল মলিব্‌ডেনামকে পরমাণুচুল্লী-নিঃসৃত নিউট্রনপ্রবাহে অবগাহন করা—



জলীয় দ্রবণে অপরাধর্মী আয়ন  $\text{TcO}_4^-$  এর তুলনা করা যায়  $\text{MnO}_4^-$  (পারম্যাঙ্গানেট) আয়নের সঙ্গে । উভয়েই বেগুনী রঙের । জলীয় দ্রবণে টেক্‌নিসিয়ামের জারণস্তর III, IV, VI ও VII দেখা যায় । ইহাদের

মধ্যে IV ও VII স্তর সাধারণ ও স্থায়ী। বিজারণ-বিভবের (Reduction potential) মান অনুরূপ রেনিয়ামের আরনের সঙ্গে তুলনীয়।



বিভবের একক = ভোল্ট (Volt vs. Normal Hydrogen Electrode)

$\text{TcO}_4^-$  (পারটেক্‌নেটে) ও  $\text{ReO}_4^-$  (পাররেনেট) কেলাসে ও দ্রবণে উভয়ের আকার টেট্রাহেড্রাল (tetrahedral)।  $\text{MnO}_4^-$  এর ন্যায় ইহারা ক্ষারীয় দ্রবণে অস্থায়ী নহে এবং তুলনামূলক ভাবে ইহারা  $\text{MnO}_4^-$  অপেক্ষা কম শক্তিশালী জারক। অ্যাসিড দ্রবণে ইহাদের জৈব দ্রাবকের (ট্রাইবিউটাইল ফস্ফেট) সাহায্যে নিষ্কাশিত করা যায়।

প্রাকৃতিক আকারিকে টেক্‌নিসিয়ামের সন্ধান পাওয়া যায় নাই, কারণ ইহার সম্ভাব্য আইসোটোপগুলির অর্ধায়ুস্ফাল অতি অল্প। দুইটি সম্ভাব্য উৎস : (১) ইউরেনিয়াম-238 আকারিকে স্বতঃবিঞ্চণ (spontaneous fission)—স্বাধা অতি বিরল ঘটনা ; (২) মালিভ্‌ডেনামের উপর প্রকৃতজ বিকিণ্ড নিউট্রনের বিক্রিয়া। এই দুইটি বিক্রিয়া ঘটিলেও টেক্‌নিসিয়ামের উৎপাদন মাত্রা হইবে অতি নগণ্য (প্রতি গ্রাম ইউরেনিয়াম  $10^{-12}$  গ্রাম টেক্‌নিসিয়াম)।

### ৩.২ মৌল 61 : প্রমিথিয়াম (Promethium, Pm)

বিংশ শতাব্দীর তৃতীয় দশকে বিরলমৃত্তিক মৌল শ্রেণী (Rare earths) বা ল্যান্থানাইড শ্রেণীকে (Lanthanide series) পর্যায়-সারণীতে অন্তর্ভুক্ত করার সময় একটি শূন্যস্থান পর্যবেক্ষণ করা গেল—তাহা হইল মৌল 61-এর



স্থান। ইহা নিওডিমিয়াম (মৌল 60) ও স্যামারিয়াম (মৌল 62) এর অন্তর্ভুক্ত। এই নিরুদ্দেশ বিরলমৃত্তিক মৌলের জন্য ব্যাপক অনুসন্ধান চলিল উক্ত মৌল শ্রেণীর আকরিকগুলির মধ্যে। কিন্তু সেই সময়ে দ্রুতর বাধা ছিল এই মৌলশ্রেণীর মৌলগুলির পারস্পরিক পৃথকীকরণের। সুযোগ মিলিল ষষ্ঠীয় মহাবৃক্ষের সময়ে আয়ন-বিনিময়-প্রযুক্তি (Ion exchange technique) উদ্ভাবনের পরে।

1945 সালে আমেরিকার ওক রিজ্জ জাতীয় গবেষণাগারে (Oak Ridge national laboratory) ম্যারিনস্কি, গ্লেন্ডেনিন ও করিয়েল (Marinsky, Glendenin and Coryell) সর্বপ্রথম চূড়ান্তভাবে প্রামিথিয়াম আবিষ্কার ও সনাক্তকরণ করিলেন। ইউরেনিয়াম-বিখণ্ডনের উপজাত মৌল সংমিশ্রণের (Fission product) অন্যতম প্রধান উপাদান মৌল 61 (উৎপাদন মাত্রা = 2.6%)। ইহার সহজাত বিরলমৃত্তিক মৌল ছিল ল্যান্থানাম, ইট্রিয়াম, সিরিয়াম, প্রোজেক্টিমিয়াম ও নিওডিমিয়াম (Lanthanum, Cerium, Praseodymium, Neodymium)। সিরিয়ামকে অপসারিত করা হইল আওডেট অক্সাইড (Ce(IO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) হিসাবে। পরে ইট্রিয়াম, স্যামারিয়াম ও ইউরোপিয়ামকে পটাশ কার্বনেট দ্রবণে উত্তপ্ত করা হইল। প্রাপ্ত অবশিষ্টাংশ (অদ্রবণীয়) ল্যান্থানাম বাহকের সহিত মিশ্রিত করিয়া দ্রবীভূত করা হইল এবং পরাধর্মী আয়ন-বিনিময় রজন-স্তম্ভে (Cation exchange resin column) স্থানান্তরিত ও আধিশোষিত করা হইল। শেষে অ্যামোনিয়াম সাইট্রেট (Ammonium citrate) দ্রবণের সাহায্যে (pH 2.75) পৃথকীকরণ সম্পন্ন হইয়াছিল। রজনস্তম্ভ হইতে নিঃসৃত মৌলগুলির ক্রম হইল : ইট্রিয়াম > মৌল 61 > নিওডিমিয়াম > প্রোজেক্টিমিয়াম। গ্রীক পুরাতত্ত্বের প্রামিথিয়াস (Prometheus) দেবতাগণের নিকট হইতে অগ্নি অপহরণ করিয়া মানুষকে দান করিয়াছিলেন। তাঁহার নামকরণ অনুযায়ী মানুষের নবাবিস্কৃত পারমাণবিক শক্তির উপজাত মৌলটি আখ্যাত হইল প্রমিথিয়াম (Promethium)।

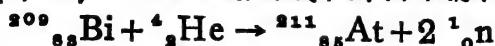
প্রামিথিয়াম উৎপাদনের বিকল্প পদ্ধতি উদ্ভাবন করিলেন কেটেল ও বয়েড (Ketelle and Boyd) ওক রিজ্জ জাতীয় গবেষণাগারে নিওডিমিয়াম-নিউট্রন কেন্দ্রিক বিক্রিয়া দ্বারা। এই পদ্ধতিতে তাঁহারা কয়েক মিলিগ্রাম শুদ্ধ প্রামিথিয়াম (<sup>147</sup>Pm) (অর্ধায়ু, 2.64 বছর) প্রস্তুত করিয়াছিলেন। প্রামিথিয়ামের মোট এগারোটি আইসোটোপ প্রস্তুত হইয়াছে (<sup>141</sup>Pm – <sup>161</sup>Pm) — ইহাদের মধ্যে <sup>147</sup>Pm সর্বাপেক্ষা দীর্ঘজীবী (অর্ধায়ু, 2.6 বছর)।

প্রমিথিয়ামের রসায়ন চর্চা খুবই সীমিত। তবে ইহা সুবিদিত যে,  $Pm^{3+}$  সাধারণ ও স্থায়ী আয়ন এবং নিওডিমিয়ামের সঙ্গে ইহার বহুল সাদৃশ্য আছে।

৩.৩ মৌল ৪৫ : অ্যাস্টাটাইন (Astatine, At)

১৯৪০ সালে করসন, ম্যাকেনজি ও সেগ্রে (Corson, Mckenzie and Se'gre') বিসমাথের সহিত আলফা কণার কেন্দ্রক বিক্রিয়া দ্বারা—

$^{209}\text{Bi} (\alpha, 2n)^{211}\text{At}$ —অ্যাস্টাটাইন উৎপন্ন করিলেন।



এই মৌল আলফা কণা ও গামা রশ্মি বিকীর্ণ করে এবং ইহার অর্ধায়ুকাল ৭.২৪ ঘণ্টা।

প্রস্তুত পদ্ধতি এইরূপ। বিসমাথ লক্ষ্যবস্তুকে (target) কেন্দ্রক বিক্রিয়া সমাধা হইবার পর প্রথমে গলিত করা হয়; পরে ইহাকে শূন্য-বাষ্পীভবন (Volatilization in vacuum) এবং ঘনীভবন করা হয়, বাহা হইতে ঊর্ধ্ব-পাতিত করিয়া শোধন করা হয়। শেষে নাইট্রিক অ্যাসিডে দ্রবীভূত করিয়া পাতিত জলে (distilled water) ধৌত করিয়া উপযুক্ত কাচের বোতলে সংরক্ষিত করা হয়।

আবিষ্কারকেরা গ্রীক শব্দ “অ্যাস্টাটাইন” (অস্থায়ী) হইতে চয়ন করিয়া নূতন মৌলের নামকরণ করিলেন। ইহা হ্যালাজেন (Halogen) পরিবারের সদৃশ। অ্যাস্টাটাইনের উগ্র আলফা সক্রিয়তার জন্য অত্যন্ত লঘুকৃত দ্রবণ ( $10^{-11}$ — $10^{-15}$  molar) ব্যবহার করা অবশ্য প্রয়োজনীয়। ১ মোলার দ্রবণ হইতে প্রতি সেকেন্ডে প্রতি মিলিলিটারে  $1.54 \times 10^{16}$  আলফা কণা বিকীর্ণ হয় বাহার ফলে জলের তেজস্ক্রিয় বিয়োজন (Radio-lysis) শুরু হয়। ট্রেসার প্রযুক্তি দ্বারা অ্যাস্টাটাইনের দ্রবণ রসায়ন অনুধাবন করা হইয়াছিল।

অ্যাস্টাটাইনের প্রায় ১৯টি আইসোটোপ আছে ( $^{208}\text{At}$ — $^{219}\text{At}$ )। ইহাদের অধিকাংশই  $\text{Bi}(\alpha, n)$  বিক্রিয়া হইতে উদ্ভূত।  $^{211}\text{At}$  এর আলফা-বর্ণালী (alpha spectrum) অ্যাস্টাটাইন সনাক্তকরণের মানদণ্ড। ইহার শতকরা ৪০ ভাগ বিয়োজনে ৫.৪৬ Mev আলফা কণা ( $^{211}\text{At} \rightarrow ^{207}\text{Pb}$ ) এবং শতকরা ৬০ ভাগ বিয়োজনে ৭.৪৩ Mev আলফা কণা ( $^{211}\text{At} \xrightarrow{\beta} ^{211}\text{Po}$ ) বিশিষ্ট প্রতীক।

হ্যালাজেন মৌলগুলির সঙ্গে অ্যাস্টাটাইনের সাদৃশ্য আছে। সাধারণ তাপে কাচের পৃষ্ঠ হইতে ইহা উষ্মায়ী (volatile) কিছু রৌপ্যের পৃষ্ঠে ইহা



রোডিয়ামের তেজস্ক্রিয় শ্রেণীতে অ্যাক্টিনিয়ামের নিষ্কাশন কষ্টসাধ্য তাই বর্তমানে রোডিয়াম—নিউট্রন বিক্রিয়া দ্বারা ইহা উৎপাদন করা হয়।



এইভাবে প্রস্তুত অ্যাক্টিনিয়াম দ্রবণে ফ্রান্সিয়াম সংশ্লিষ্ট হয় এবং ইহাকে প্রত্যক্ষভাবে ট্রেসার পরীক্ষা নিয়োগ করা যায়। উক্ত দ্রবণে সিরিয়াম ডাই-অক্সাইড, লেড্, সালফাইড বা বেরিয়াম কার্বনেট দ্বারা অধঃক্ষেপণ করিলে 21 মিনিট অর্ধায়ুসময় বিশিষ্ট তেজস্ক্রিয় অংশটি বাহিত হয় না। পরের পর্বায়ে এই দ্রবণে দ্রবণীয় রুবিডিয়াম (Rubidium) বা সিজিয়াম (Caesium) লবণ যোগ করা হয় এবং পরে অদ্রবণীয় পারক্লোরেট, পিক্রেট, হেক্সাক্লোরোপ্লাটিনেট, ক্লোরোবিসমুথেট বা ক্লোরোস্টানেট হিসাবে অধঃক্ষেপ করা হয়। শেষোক্ত অধঃক্ষেপে প্রায় সমস্ত ফ্রান্সিয়ামের অংশ বাহিত হয়। ইহা দ্বারা ফ্রান্সিয়ামের সহিত ক্ষার মৌলগোষ্ঠীর সাদৃশ্য প্রমাণিত হইয়াছে।

ফ্রান্সিয়ামের আবিষ্কার্ত্রী শ্রীমতী পেরের ডক্টরেট নিবন্ধে মৌলটির রাসায়ন প্রায় সম্পূর্ণ উদ্ঘাটিত হইয়াছিল (1946 সালে)। পরে তিনি 1953 সালে কাগজ বর্ণলেখী বিশ্লেষণ (Paper Chromatography) প্রযুক্তির সাহায্যে বাহক-মুক্ত (carrier-free) অবস্থায় ফ্রান্সিয়াম প্রস্তুত পদ্ধতি উদ্ভাবন করিয়াছিলেন।

প্রাসঙ্গিক গ্রন্থ, প্রবন্ধাদি :

1. E. K. Hyde—Journal of Chemical Education, 36, 15-21 (1959)
2. G. T. Seaborg and I. Perlman—Scientific American, April, 1950
3. F. A. Cotton and G. Wilkinson—"Advanced Inorganic Chemistry", 2nd ed., Wiley, N. Y. (1966)

## ৪। পরিভাষা ( Nomenclature )

এই পুস্তকের বিষয়বস্তু সম্যক হৃদয়ঙ্গম করিতে হইলে কয়েকটি গুরুত্বপূর্ণ পরিভাষা ব্যাখ্যা করা দরকার। স্নাতকোত্তর পর্যায়ে ইহার বাহ্যিক থাকিলেও এই সঙ্কলনের প্রয়োজনীয়তা ছাত্র-ছাত্রীদের কাছে অপরিসীম।

(ক) **পারমাণু ক্রমাঙ্ক (Atomic Number)** : প্রত্যেক মৌলিক পদার্থের পরমাণুর কেন্দ্রে প্রোটনের সংখ্যা দ্বারা পরমাণু ক্রমাঙ্ক নির্ণীত হয়। এই সংখ্যা পর্যায়-সারণীতে মৌল পদার্থের স্থান নির্দেশ করে। ইউরেনিয়ামের পরমাণু ক্রমাঙ্ক ৯২ অর্থাৎ ইউরেনিয়ামের পরমাণুর কেন্দ্রে ৯২টি প্রোটন থাকে। কেন্দ্রের আধান  $92+$  এবং পর্যায়-সারণীতে ইউরেনিয়ামের স্থান ৯২তম। এই পরমাণু ক্রমাঙ্কই মৌলের নির্দিষ্ট পরিচয়।

(খ) **পারমাণু ভরসংখ্যা (Mass Number)** : পরমাণুর প্রোটন, নিউট্রন ও ইলেকট্রনের ভর সমষ্টি পরমাণু ভরসংখ্যা। ইহা প্রায় পারমাণবিক গুরুত্বের সমান। দৃষ্টান্তস্বরূপ, He (হিলিয়াম) এর ২টি ইলেকট্রন এবং কেন্দ্রে ২টি প্রোটন ও ২টি নিউট্রন আছে। অতএব, হিলিয়ামের ভরসংখ্যা  $= 2 \times 0.0005486 + 2 \times 1.00758 + 2 \times 1.00893 = 4.0311$ । ভরসংখ্যার একক (atomic mass unit বা a. m. u.)  $= 1.661 \times 10^{-24}$  গ্রাম।

(গ) **পারমাণবিক গুরুত্ব (Atomic Weight)** : মৌলের একটি পরমাণু হাইড্রোজেন পরমাণুর তুলনায় কতগুণ ভারী তাহাকে উক্ত মৌলের পারমাণবিক গুরুত্ব বলা হয়। অর্থাৎ পাঃ গুরুত্ব একটি অনুপাত। ইউরেনিয়ামের পাঃ গুরুত্ব ২৩৮ বলিতে বোঝায়, ইউরেনিয়ামের একটি পরমাণু হাইড্রোজেন পরমাণুর চেয়ে ২৩৮ গুণ ভারী। ইহার কেন্দ্রে ৯২টি প্রোটন ও ১৪৬টি নিউট্রন থাকে। পাঃ গুরুত্বের একক  $^{12}\text{C} = 12.0000$ ।

পারমাণবিক গুরুত্ব ও পরমাণু ভরসংখ্যা প্রায় সমান (স্থূল হিসাবে)। হিলিয়ামের পরমাণু ভরসংখ্যা  $= 4.0311$  এবং পাঃ গুরুত্ব  $= 4.0000$ ।

(ঘ) **কেন্দ্রক (Nucleus)** : পরমাণুর অস্তঃগুরে কেন্দ্রের অবস্থান। পরমাণু ভর কেন্দ্রে কেন্দ্রীভূত—ইহা প্রোটন-নিউট্রনের সমন্বয়ে গঠিত।

কেন্দ্রকের ব্যাস  $10^{-13} - 10^{-12}$  সেন্টিমিটার এবং পরমাণুর 99.95% ভর ইহাতে ন্যস্ত। পরমাণুর ভৌত ধর্ম কেন্দ্রকের উপর নির্ভরশীল।

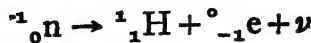
(ঙ) ইলেকট্রন (Electron)—সংকেত  $e^-$ ,  $\beta^-$  : ইলেকট্রন কেন্দ্রকের চারিপাশে নির্দিষ্ট স্তরে (Shell) বা অনুস্তরে (Sub-shell) প্রদক্ষিণ করে। পরমাণুর রাসায়নিক ধর্ম ও বিক্রিয়া ইলেকট্রনবিন্যাসের উপর নির্ভরশীল। ইহা পরমাণুর অন্যতম প্রধান মৌল কণা ; ভর =  $0.0005486$  a. m. u. =  $9.1091 \times 10^{-28}$  গ্রাম ; আধান =  $-1$  (একক =  $4.8030 \times 10^{-10}$  e. s. u. [ ইলেক্ট্রোস্ট্যাটিক ইউনিট ] )

(চ) প্রোটন (Proton)—সংকেত  ${}^1\text{H}$  বা  $P$  : ইহা কেন্দ্রকের অন্যতম প্রধান মৌল কণা—মূলতঃ হাইড্রোজেন পরমাণুর কেন্দ্রক। ভর =  $1.008123$  ; a. m. u. =  $1.6725 \times 10^{-24}$  গ্রাম ; আধান =  $+1$  (বা  $+4.8030 \times 10^{-10}$  e. s. u. )

(ছ) নিউট্রন (Neutron)—সংকেত  $n$  : কেন্দ্রকের অন্যতম প্রধান মৌল কণা ; ভর =  $1.00893$  a. m. u. ; আধান =  $0$ । অর্থাৎ নিউট্রন তড়িৎআধান শূন্য নিরপেক্ষ মৌল কণা। কেন্দ্রক বিক্রিয়ার ইহা ক্ষেপণক কণা হিসাবে বিশেষ কার্যকরী।

(জ) পজিট্রন (Positron)—সংকেত  $e^+$ ,  $\beta^+$  : ইহা কেন্দ্রকের অস্থায়ী মৌল কণা ; ইলেকট্রনের বিপরীতধর্মী ; ভর =  $0.0005486$  a. m. u. ; আধান =  $+1$ ।

(ঝ) নিউট্রিনো (Neutrino)—সংকেত  $\nu$  : ইহাও অস্থায়ী মৌল কণা ; ভর =  $< 0.00002$  a. m. u. ; আধান =  $0$ । অর্থাৎ ইহা নিউট্রনের মতো নিরপেক্ষ কণা কিন্তু ভর ইলেকট্রনের চেয়ে কম। নিউট্রনের বিভাজনে নিউট্রিনোর সৃষ্টি হয়।



প্রসঙ্গতঃ উল্লেখযোগ্য নিউট্রনের অর্ধায়ুকাল 750 সেকেণ্ড।

(ঞ) মেসন (Meson) : অত্যন্ত অস্থায়ী মৌল কণা ; ভর ইলেকট্রনের চেয়ে প্রায় 276 গুণ বেশী এবং আধান  $0$ ,  $+1$  বা  $-1$  ; দুই প্রকারের মেসন পাওয়া গিয়াছে পাই ( $\pi$ ) ও মিউ ( $\mu$ )।

$\pi$  মেসনের ভর  $0.151 \text{ a. m. u.}$ ; আধান  $+1, -1, 0$ ; অর্ধায়ুকাল  $10^{-8}$  সেকেন্ড।

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu$$

$\mu$  মেসনের ভর  $0.1152 \text{ a. m. u.}$ ; আধান  $+1, -1, 0$ ; অর্ধায়ুকাল  $10^{-6}$  সেকেন্ড।

$$\mu^+ \rightarrow p + 2\nu$$

(ট) আইসোটোপ (Isotope): পরমাণু-ক্রমাঙ্ক এক কিন্তু পারমাণবিক গুরুত্ব বিভিন্ন—এই ধরনের মৌলদের আইসোটোপ বলা হয়। ইউরেনিয়ামের দুইটি আইসোটোপ, ইউরেনিয়াম-235 ( $^{235}_{92}\text{U}$ ) ও ইউরেনিয়াম-238 ( $^{238}_{92}\text{U}$ ) ইহাদের পরমাণু-ক্রমাঙ্ক 92 কিন্তু পারমাণবিক গুরুত্ব বিভিন্ন (235, 238)। আইসোটোপগুলিতে প্রোটন সংখ্যা একই কিন্তু নিউট্রন সংখ্যার তারতম্য থাকে।

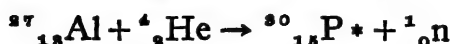
(ঠ) আলফা কণা (Alpha particle)— $\alpha$ : তেজস্ক্রিয় মৌল হইতে বিচ্ছুরিত অন্যতম কণা। ইহা হিলিয়াম কেন্দ্রকের সমান; ভর  $4.0039 \text{ a. m. u.}$ ; আধান  $+2$ ; সংকেত  $^4_2\text{He}$ ।

(ড) বিটা কণা (Beta particle)— $\beta$ : তেজস্ক্রিয় মৌল বিচ্ছুরিত কণা—ইলেকট্রনের সমধর্মী; ভর  $0.0005486 \text{ a. m. u.}$ ; আধান  $-1$ ।

(ঢ) গামা রশ্মি (Gamma ray)— $\gamma$ : তেজস্ক্রিয় মৌল বিচ্ছুরিত রশ্মি—ইহা তরঙ্গপ্রবাহ বিশেষ।

(ণ) কুরী (Curie)—C: তেজস্ক্রিয়তা মাত্রার একক।  $1 \text{ কুরী} = 3.7 \times 10^{10}$  বিভাজন প্রতি সেকেন্ডে; ইহা 1 গ্রাম রোডিয়ামের (Radium) বিভাজন হারের সমান।

(ত) কেন্দ্রক বিক্রিয়া (Nuclear reaction): পরমাণু কেন্দ্রকের সাহিত উচ্চ শক্তি ও গতিবেগ সম্পন্ন পরমাণু কণার সংঘাতে যে বিক্রিয়া সম্পন্ন হয়, তাহাকে কেন্দ্রক বিক্রিয়া বলা হয়।



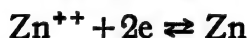
(তেজস্ক্রিয়)

মৌলের বা কণার বাম দিকে উপরে ভরসংখ্যা ও নিচে ক্রমাঙ্ক লেখার রীতি প্রচলিত।

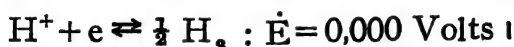
(খ) **জারণসত্তা (Oxidation states)**: কোন যৌগে একটি পরমাণুর আধানকে (charge) উহার জারণ স্তর অভিহিত করা হয়। যে কয়টি ইলেকট্রন গ্রহণ বা বর্জন করিলে যৌগমধ্যস্থ পরমাণুটি মৌলের উদাসীন পরমাণুতে (neutral atom) পরিণত হয়, তাহাকে পরমাণুটির জারণ স্তর (oxidation state) বা জারণ সংখ্যা (oxidation number) বলা হয়। NaCl যৌগে Na-এর জারণসত্তা +1 ;  $\text{UO}_2$  ( $\text{NO}_3$ )<sub>2</sub>,  $6\text{H}_2\text{O}$  যৌগে U-এর জারণসত্তা +6 ইত্যাদি। সন্ধিগত মৌল (Transition elements) শ্রেণীর মৌলদের একাধিক জারণ স্তর থাকে।

(গ) **তড়িৎদ্বার বিভব (Electrode potential)**: প্রত্যেক বিদ্যুৎকোষে দুইটি তড়িৎদ্বার (Electrode) থাকে—পরাধর্মী (Positive ; Anode) ও অপরাধর্মী (Negative ; Cathode)। ধাতু-ধাতব আয়নের জলীয় দ্রবণে যে সাম্যাবস্থা থাকে, তাহাতে বিভবের (Potential) সৃষ্টি হয় ; যেমন,  $\text{Zn} \rightleftharpoons \text{Zn}^{++} + 2\text{e}$

সাধারণতঃ তড়িৎদ্বারে বিক্রিয়াকে বিজারণ হিসাবে ধরা হয়—



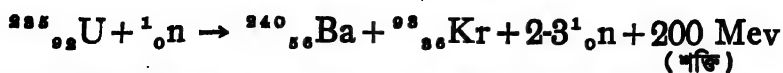
এবং ইহাতে জিঙ্কের বিজারণ বিভব উৎপন্ন হয়। এই বিভব মূল্যায়ন করিতে হইলে একটি নির্দেশ বা প্রমাণ তড়িৎদ্বার বিভবের ( প্রমাণ হাইড্রোজেন তড়িৎদ্বার, Standard hydrogen electrode ) সঙ্গে যুক্ত করা হয়। প্রমাণ হাইড্রোজেন তড়িৎদ্বারের বিভবকে একক ধরা হয়—



এই প্রমাণ তড়িৎদ্বারের সঙ্গে যুক্ত জিঙ্ক তড়িৎদ্বারের প্রমাণ বিভবের ( জিঙ্ক সক্রিয়তা = 1.0 বা গাঢ়ত্ব = 1 Molar ) মান—0.762 Volts।

(ঘ) **পারমাণবিক বিভাজন (Atomic or Nuclear fission)**: ইউরেনিয়াম-233, -235 বা প্লুটোনিয়াম-239 কেন্দ্রকে মন্থরগতি নিউট্রন দ্বারা আক্রান্ত করিলে কেন্দ্রকাটি দুইটি অসমান খণ্ডে বিভক্ত হয় এবং একই সঙ্গে নিউট্রন ও প্রচুর শক্তির উদ্ভব হয়। শৃংখল অভিভ্রম (Chain reaction) অনুসৃত হইয়া প্রায় 200টি উপজাত মৌল (Fission products) উৎপন্ন এবং প্রচণ্ড শক্তি উদ্ভূত হয়। এই বিক্রিয়াকে





পারমাণবিক বিখণ্ডন অভিহিত করা হয়। ইহাই পরমাণু শক্তির উৎস।

(ন) পারমাণু সন্ধিস্থলন (Atomic or Nuclear fission):

ইহা পারমাণবিক বিখণ্ডনের বিপরীত বিক্রিয়া। অতি উচ্চ তাপে (কোটি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড) দুইটি লঘু কেন্দ্রক একত্র যুক্ত হইয়া প্রচণ্ড শক্তি সৃষ্টি করে। হাইড্রোজেনের দুইটি



ভারী আইসোটোপ সম্মিলিত হইয়া হিলিয়াম ও নিউট্রন উৎপন্ন করে এবং সঙ্গে 17 Mev শক্তি বিচ্ছুরিত হয়। ইহা হাইড্রোজেন বোমা বিস্ফোরণের ভিত্তি। হিসাব করিলে দেখা যায়, পারমাণবিক বিখণ্ডন অপেক্ষা পরমাণু সম্মিলনের শক্তি সৃষ্টির দক্ষতা (efficiency) চারগুণ বেশী।

কয়েকটি প্রাসঙ্গিক ভৌত ধ্রুবকের (Physical constant) তালিকা নিচে দেওয়া হইল :

অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা (Avogadro number), N

$$6.023 \times 10^{23} \text{ প্রতি মোলে (mole)}$$

প্ল্যাঙ্ক ধ্রুবক (Planck's constant),  $h = 6.6256 \times 10^{-27}$

আর্গ/সেকেন্ড

আলোকের গতিবেগ,  $c = 2.997 \times 10^{10}$  সেন্টিমিটার/সেকেন্ড

(শূন্যে)

পারমাণবিক শক্তির একক Mev :

$$1 \text{ Mev} = 10^6 \text{ ev (ইলেকট্রন ভোল্ট)}$$

$$= 1.602 \times 10^{-6} \text{ erg (আর্গ)}$$

$$= 23.06 \times 10^6 \text{ Kcal/mole (মোল প্রতি)}$$

কিলো-ক্যালোরি)

ইলেকট্রন ভোল্টের সংজ্ঞা = একটি ইলেকট্রনকে 1 ভোল্ট বিভব পার্থক্যে উন্নীত করার জন্য প্রয়োজনীয় শক্তি।

পরমাণু ভরসংখ্যার একক (Atomic mass unit = a. m. u.) =

$$931.5 \text{ Mev} = 1.66 \times 10^{-24} \text{ gram.}$$

**দ্বিতীয় পৰ্যায়**

**ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলশ্রেণী**

**( The Trans-Uranium Elements )**

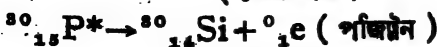
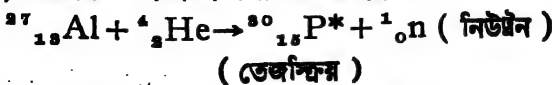


## ৫। পটভূমিকা ( Background )

বিজ্ঞানের ইতিহাসে আমরা দেখি, অতি পুরাকাল হইতে মানুষের স্বপ্ন ও প্রয়াস ছিল সাধারণ ধাতুকে সোনাতে রূপান্তরিত করা নিছক ঐশ্বর্যলাভের মোহে। পঞ্চদশ শতাব্দী পর্যন্ত অপ-রসায়নবিদ্রা (alchemist) নানাভাবে চেষ্টা করিয়াও সাফল্যলাভ করিতে পারেন নাই। তাঁহারা অবশ্য তামা, ব্রোঞ্জ ইত্যাদি সংকর ধাতু উৎপন্ন করিয়াছিলেন, যাহাদের উজ্জ্বলতা সোনার মতো ছিল। অপ-রসায়নবিদ্রদের পদার্থ-রূপান্তরের স্বপ্ন বাস্তবে রূপান্তরিত হইল বিংশ শতাব্দীর মধ্যভাগে পরমাণুবিজ্ঞানীদের সাধনার ফলে।

বিংশ শতাব্দীর চতুর্থ দশকের আগে পর্যন্ত পর্যায়-সারণীতে (Periodic table) নব্বইটি মৌলিক পদার্থের স্থান ছিল। সব চেয়ে ভারী মৌল ছিল ইউরেনিয়াম (Uranium), যাহার পরমাণু-ক্রমাঙ্ক 92 এবং পারমাণবিক গুরুত্ব 238 (সংকেত  $^{238}_{92}\text{U}$ ) এবং সবচেয়ে লঘু মৌলিক পদার্থ হইল হাইড্রোজেন (Hydrogen); পরমাণু-ক্রমাঙ্ক 1 ও পারমাণবিক গুরুত্ব 1। হাইড্রোজেন হইতে ইউরেনিয়াম পর্যন্ত 92টি মৌলিক পদার্থের মধ্যে 88টি প্রকৃতিজাত। বাকী 4টি মৌল (ক্রমাঙ্ক 43, 61, 85, 87) কৃত্রিম এবং গবেষণাগারে সৃষ্ট (যথাক্রমে টেকনিসিয়াম, প্রমিথিয়াম, অ্যাক্টাটাইন ও ফ্রান্সিয়াম)। এই শেষোক্ত মৌলগুলি 1937—45 সালে আবিষ্কৃত হয় ও পর্যায়-সারণীর চারটি শূন্যস্থান পূরণ করে (তৃতীয় পরিচ্ছেদ)।

1934 সালে ফরাসী বিজ্ঞানী জলিও কুরী দম্পতী কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়তা (Artificial radioactivity) আবিষ্কার করিয়া মৌল পদার্থ রূপান্তরের (Transmutation of elements) পথিকূপ হইলেন। পোলোনিয়াম (Polonium) নিঃসৃত আলফা কণা দ্বারা অ্যান্টিমনিয়াম ধাতুকে আক্রান্ত করিবার ফলে তেজস্ক্রিয় ফস্ফরাস প্রথমে উৎপন্ন হইল, পরে ইহা স্থায়ী সিলিকন পরমাণুতে পরিণত হইল। উক্ত কেন্দ্রক বিক্রিয়ায় (Nuclear reaction) নিউট্রন ও পজিট্রন কণা বিকীর্ণ হইল।



তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ উৎপাদনের এই প্রণালী অনুসরণ করিয়া পরে প্রায় এক সহস্রের অধিক তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ উৎপন্ন করা সম্ভব হইয়াছে। উক্ত আবিষ্কারের প্রায় একই সময়ে দুটি গুরুত্বপূর্ণ আবিষ্কার পরমাণুবিজ্ঞানের অগ্রগতি স্বরান্বিত করিল। আমেরিকা যুক্তরাষ্ট্রের ক্যালিফোর্নিয়া বিশ্ববিদ্যালয়ের লরেন্স (E. O. Lawrence) সাইক্লোট্রন (Cyclotron) যন্ত্র আবিষ্কার করিলেন, যাহা দ্বারা উচ্চশক্তিসম্পন্ন বিদ্যুৎবাহী কণা উৎপন্ন করা সম্ভব হইল। এই সাইক্লোট্রন ভারী মৌলগুলিকে রূপান্তরিত করার ব্যাপারে মুখ্য ভূমিকা গ্রহণ করিয়াছে। দ্বিতীয়তঃ ইংলণ্ডের জেমস্‌ চ্যাডউইক (James Chadwick) এর দ্বারা তড়িতাধানবিহীন মৌল কণা নিউট্রনের আবিষ্কার উল্লেখযোগ্য। মৌল পদার্থের রূপান্তরে নিউট্রন, উদাসীন (neutral) মৌল কণা হওয়ার জন্য আলফা কণা বা অনুরূপ আধান বিশিষ্ট কণা অপেক্ষা অনেক কার্যকরী। তড়িতাধান শূন্য হওয়ার নিউট্রন সহজেই পরমাণুর অভ্যন্তরে প্রবেশের অধিকারী এবং কেন্দ্রকের সহিত বিক্রিয়ার লিপ্ত হইতে পারে।

ইটালীর এনরিকো ফের্মি (Enrico Fermi) নিউট্রনের দ্বারা মৌল পদার্থ রূপান্তরের গবেষণায় রত ছিলেন। তাঁহার ধারণা ছিল, অন্যান্য মৌল পদার্থের মতো পর্যায়-সারণীর সর্বাধিক গুরুত্বপূর্ণ মৌল ইউরেনিয়ামকে (ক্রমাঙ্ক 92, পাঃ গুরুত্ব 238) নিউট্রন দ্বারা আক্রান্ত করিলে উচ্চতর ক্রমাঙ্কের (93, 94 ইত্যাদি) মৌলের পরমাণু সৃষ্টি করা সম্ভব হইতে পারে। এইভাবে নূতন ইউরেনিয়ামোস্তর মৌলপ্রণী সৃষ্টি করা সম্ভব। কিন্তু এই পরীক্ষার ফের্মি ও তাঁহার সহকর্মীরা বিস্ময়ে লক্ষ্য করিলেন অভূতপূর্ব তেজস্ক্রিয়তার উৎপত্তি। তাঁহারা ব্যাখ্যা দিলেন যে, সম্ভবতঃ একাধিক ইউরেনিয়ামোস্তর মৌল পদার্থ সৃষ্ট হইয়াছে। কিন্তু প্রকৃত ব্যাখ্যা পাওয়া গেল 1939 সালে হান ও স্ট্রাসম্যান (Hahn and Strassmann) পারমাণবিক বিখণ্ডন (Nuclear Fission) আবিষ্কার করিলেন। ইউরেনিয়ামের কেন্দ্রক মন্থরগতি নিউট্রনের আঘাতে দুইটি অসমান খণ্ডে বিভাজিত হয়—সঙ্গে কয়েকটি নিউট্রন ও প্রভূত শক্তির সৃষ্টি হয়—উপজাত পদার্থের মধ্যে উল্লেখযোগ্য প্রায় দুইশত তেজস্ক্রিয় আইসোটোপের সংমিশ্রণ (Fission Product)।

$^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{140}_{54}\text{Ba} + {}^{91}_{36}\text{Kr} + 2-3 {}^1_0\text{n} + 200\text{Mev}$   
 আশ্চর্যের বিষয় ইউরেনিয়ামোস্তর মৌল পদার্থের অনুসন্ধান কার্যে আবিষ্কৃত

হইল এক যুগান্তকারী আবিষ্কার পারমাণবিক বিখণ্ডন (1939)। আবার পারমাণবিক বিখণ্ডনের অগ্রভূমি কসল ইউরেনিয়ামোস্টর মৌল-শ্রেণীর আবিষ্কার [ ম্যাকমিলান (McMillan, 1940) ]। 1940 হইতে 1961 সাল এই দুই দশকের মধ্যে মৌল 93 হইতে 103 অর্থাৎ 11টি মৌলের আবিষ্কার সারা বিজ্ঞানজগৎ, বিশেষতঃ রসায়নবিজ্ঞানকে চমকিত করিল। পর্যায়-সারণীর শতকরা 15 ভাগ মৌল (103 পর্যন্ত) গবেষণাগারে সৃষ্ট। অজৈব রসায়ন নবজাগরণে উদ্দীপ্ত হইল — শুমু তাই নয়, রসায়ন ও পদার্থবিদ্যার নব নব দিগন্ত উন্মোচিত হইল। নিখিল বিশ্ববাসীকে চমকিত করিয়া মানবসভ্যতার ইতিহাস উদ্ভাসিত করিয়া আবির্ভূত হইল এক নূতন যুগ—পরমাণু যুগ।

ইউরেনিয়ামোস্টর মৌলশ্রেণীর তালিকা নিচে লিপিবদ্ধ হইল (সারণী 5.1)।

## সারণী 5.1 : ইউরেনিয়ামোক্তর মৌলজ্ঞেয়

পরমাণু ক্রমিক	পারমাণবিক ভর	মৌল	সংকেত	আবিষ্কারক	আবিষ্কারের বছর
93	237	Neptunium ( নেপচুনিয়াম )	Np	McMillan, Abelson (U.S.A.)	1940
94	242	Plutonium ( প্লুটোনিয়াম )	Pu	Seaborg, McMillan, Kennedy, Wahl (U.S.A.)	1942
95	243	Americium ( আমেরিকিয়াম )	Am	Seaborg, James, Morgan, Ghiorso (U.S.A.)	1944-45
96	248	Curium ( কুরিয়াম )	Cm	Seaborg, James, Ghiorso (U.S.A.)	1944
97	249	Berkelium ( বার্কেলিয়াম )	Bk	Seaborg, Thomson, Ghiorso (U.S.A.)	1949
98	249	Californium ( ক্যালিফোর্নিয়াম )	Cf	Seaborg, Thomson, Street, Ghiorso (U.S.A.)	1950
99	254	Einsteinium ( আইনস্টাইনিয়াম )	Es	Seaborg, Ghiorso, Thomson, Higgins, etc. (U.S.A.)	1952
100	253	Fermium ( ফের্মিয়াম )	Fm	Seaborg, Ghiorso, Thomson, etc. (U. S. A.)	1953
101	256	Mendelevium ( মেন্ডেলিভিয়াম )	Md	Seaborg, Ghiorso, Harvey (U.S.A.)	1955
102	254	Nobelium ( নোবেলিয়াম )	No	Seaborg, Ghiorso, etc. (U.S.A.)	1958
103	257	Lawrencium ( লরেন্সিয়াম )	Lw	Ghiorso, Sikkeland, Larsh, Latimer (U.S.A.)	1961

উপরের সারণীতে সর্বাপেক্ষা দীর্ঘজীবী আইসোটোপের পারমাণবিক গুরুত্ব দেওয়া হইয়াছে।

## ৬। ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলশ্রেণীর আবিষ্কার ও উৎপাদন (Discovery & Production of Trans-Uranium Elements)

### ৬.১ আকস্মিক

প্রকৃতিতে উল্লেখযোগ্যভাবে ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলের আকস্মিক নাই। ইউরেনিয়ামের আকস্মিকে অতি নগণ্যমাত্রায় ( $10^{-12}\%$ ) নেপচুনিয়াম ও প্লুটোনিয়াম থাকে। তাই উক্ত আকস্মিক হইতে এই দুইটি মৌল নিষ্কাশন করা স্বস্তিসঙ্গত নয়। মহাশূন্যে কিছু নক্ষত্রমণ্ডলীতে ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলের অস্তিত্বের ইঙ্গিত পাওয়া গিয়াছে জ্যোতির্বিজ্ঞানীদের মতে।

### ৬.২ মৌল ৭৩ : নেপচুনিয়াম (Neptunium, Np)

১৯৪০ সালে আমেরিকা যুক্তরাষ্ট্রের বার্কলে শহরে ক্যালিফোর্নিয়া বিশ্ব-বিদ্যালয়ের বিখ্যাত তেজস্ক্রিয় গবেষণাগারে (Radiation laboratory) ম্যাকমিলান (E. M. McMillan) পারমাণবিক বিখণ্ডনের গবেষণায় ব্যাপৃত ছিলেন। তাঁহার গবেষণার বিষয়বস্তু ছিল ইউরেনিয়াম পরমাণুর বিখণ্ডনজাত দুইটি অংশের শক্তি-নিরূপণ। উপজাত বেরিয়াম ট্রিপ্টন

$$^{235}_{92}\text{U} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Ba} + ^{93}_{38}\text{Kr} + 2-3^1_0\text{n} + 200\text{Mev}$$

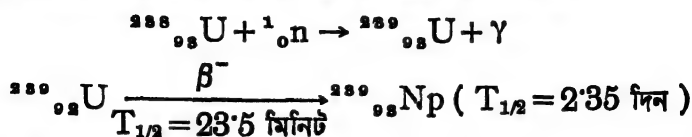
(বেরিয়াম) (ট্রিপ্টন) (শক্তি)

উভয়েই তেজস্ক্রিয়(\*)।

ম্যাকমিলান একটি পাতলা কাগজের উপর ইউরেনিয়াম অক্সাইডের এক পাতলা আশ্রয় রাখিলেন। এই কাগজখণ্ডের পরে কয়েকখণ্ড সিগারেটের কাগজ ন্যস্ত করা ছিল, বাহাতে প্রথম কাগজ হইতে নির্গত ইউরেনিয়াম-বিভাজনের অংশগুলি সঞ্চিত হইবে। গবেষণাগারের ৬০" ইঞ্চি সাইক্লোট্রন হইতে নিঃসৃত নিউট্রন রশ্মিকণা দ্বারা ইউরেনিয়াম অক্সাইডের আশ্রয়টিকে আক্রান্ত করা হইল। ম্যাকমিলান লক্ষ্য করিলেন যে, উক্ত বিক্রিয়ায় বিখণ্ডন উপজাত মৌলগুলি ছাড়া অন্য একটি তেজস্ক্রিয় মৌল ছিল, বাহা প্রথমোক্ত মৌলগুলির মতো ইউরেনিয়াম অক্সাইডের আশ্রয় হইতে প্রত্যাক্ষপ (recoil) হয় নাই। তিনি অনুমান করিলেন যে, ইউরেনিয়ামের



প্রকৃতিজ প্রধান আইসোটোপ (ইউরেনিয়াম-238) এর সঙ্গে নিউট্রন-সংঘাতে নতন মৌলের উদ্ভব হইয়াছে। তিনি ও তাঁহার সহকর্মী অ্যাবেলসন (P. H. Abelson) রাসায়নিক প্রক্রিয়ায় সাহায্যে এই নতন মৌল পৃথক করিলেন এবং প্রমাণ করিলেন 93-ক্রমাঙ্ক মৌলের সৃষ্টি হইয়াছে।



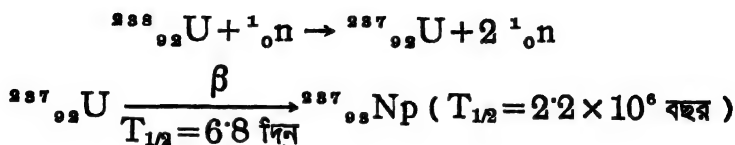
অস্থায়ী ইউরেনিয়াম-239 হইতে বিটা কণা বিচ্ছুরিত হইয়া উচ্চতর ক্রমাঙ্কবিশিষ্ট মৌল 93 (নেপ্‌চুনিয়াম) উদ্ভূত হয়। ইহার অর্ধায়ুকাল 2.35 দিন। ইউরেনাস গ্রহের পরবর্তী গ্রহ নেপচুন—অতএব এই সাদৃশ্য হইতে ইউরেনিয়ামের পরবর্তী মৌলের নামকরণ হইল নেপ্‌চুনিয়াম (Neptunium)—সাম্প্রতিক নাম Np।

রাসায়নিক অনুসন্धानে দেখা গেল যে, নেপ্‌চুনিয়ামের সঙ্গে ইউরেনিয়ামের রাসায়নিক ধর্মের সাদৃশ্য রহিয়াছে। রেনিয়ামের (Rhenium) [পৰ্যায়-সারণীর VII A শ্রেণীর মৌল] সঙ্গে ইহার সাদৃশ্য থাকিতে পারে, এই ধারণা ভুল প্রমাণিত হইল। ম্যাক্সিমিলান সিঙ্কান্ত করিলেন যে, বিরল-মৃত্তিক মৌলশ্রেণীর (Rare earth elements : ক্রমাঙ্ক 58—71) অনুরূপ এই নতন মৌলটি একটি মৌলশ্রেণীর—“ইউরেনিয়ামোস্টর মৌলশ্রেণীর” (Trans-Uranium elements) পরিবারভুক্ত প্রথম সদস্য।

ঐ সময়ে নেপ্‌চুনিয়াম এত অল্পমাত্রায় উৎপন্ন হইয়াছিল যে উহা আদৌ তোলনযোগ্য ছিল না। তাই ট্রেসার প্রযুক্তির (Tracer technique) (দ্বিতীয় পরিচ্ছেদ) সাহায্যে গবেষণা সম্পন্ন হইয়াছিল। এই পদ্ধতিতে রাসায়নিক পৃথকীকরণ প্রক্রিয়ার বিভিন্ন পর্যায়ে নেপ্‌চুনিয়াম পরমাণুর গতিপথ অনুধাবন করা হইত উহার তেজস্ক্রিয়-বিভাজন-হার (Radioactive decay) পর্যবেক্ষণের দ্বারা। এইভাবে নেপ্‌চুনিয়াম যৌগের দ্রাব্যতা, জারণ-বিজারণ বিভব (Oxidation-Reduction potential), জটিল আয়ন ইত্যাদি অনুসন্ধান করা সম্ভব হইয়াছিল। নেপ্‌চুনিয়ামের চারটি জারণ-স্তর (III, IV, V, VI) প্রমাণিত হইয়াছে—তাদের মধ্যে V জারণস্তর সর্বাপেক্ষা স্থায়ী।

1944 সালে শিকাগো বিশ্ববিদ্যালয়ের সামরিক খাত্তাবিদ্যা গবেষণাগারে

(Wartime metallurgical laboratory) প্রথম তৌলনযোগ্য নেপ্‌চুনিয়াম উৎপন্ন হইয়াছিল। পরমাণু-চুল্লীতে (Nuclear reactor) ইউরেনিয়াম-238 এর সহিত নিউট্রনের সংঘাতে ইউরেনিয়াম-237 উৎপন্ন হয়—ইহা হইতে  $\beta$ -কণা বিচ্ছুরিত হওয়ার পর নেপ্‌চুনিয়াম-237 সৃষ্ট হয় (অর্ধায়ুসময়,  $T_{1/2} = 2.2 \times 10^6$  বছর)। কেন্দ্রক বিক্রিয়াগুলি এইরূপ :

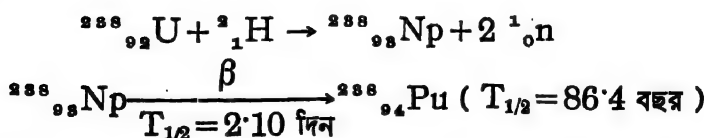


এই দুইটি বিক্রিয়ার সংক্ষিপ্ত পরিচিতি :



### ৬.৩ মৌল 94 : প্লুটোনিয়াম (Plutonium, Pu)

ইহা দ্বিতীয় ইউরেনিয়ামোত্তর মৌল। নেপ্‌চুনিয়াম আবিষ্কারের উদ্দীপনায় ম্যাকমিলান ও আরও কয়েকজন বিজ্ঞানী—কেনেডি, ওয়াল ও সীবার্গ (E. M. McMillan, J. W. Kennedy, A. C. Wahl, G. T. Seaborg) নূতন ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলের অনুসন্ধান প্রসারিত করিলেন। তাঁহারা 60" সাইক্লোট্রন হইতে ভারী হাইড্রোজেন (ডয়টরন,  ${}^2_1\text{H}$ ) রশ্মি সম্প্রদায় দ্বারা ইউরেনিয়াম-238 হইতে নেপ্‌চুনিয়াম-238 প্রস্তুত করিলেন, যাহা হইতে  $\beta$ -কণা নিঃসৃত হইয়া প্লুটোনিয়াম-238 উৎপন্ন হইল।

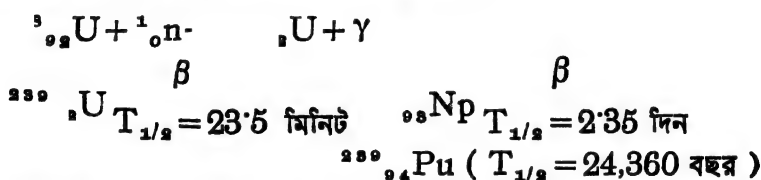


প্রথমোক্ত বিক্রিয়াটিকে সংক্ষেপে লেখা হয়  $^{238}\text{U}(\text{d}, 2\text{n}) ^{238}\text{Np}$  ( $\text{d} = \text{deuterium}$ , ভারী হাইড্রোজেন)।

ইউরেনিয়াম অক্সাইড যোগকে 16-Mev (160 লক্ষ ইলেকট্রন ভোল্ট) শক্তিসম্পন্ন ডয়টরন রশ্মিকণা দ্বারা আঘাত করার ফলে দেখা গেল যে উৎপন্ন নেপ্‌চুনিয়াম আইসোটোপে আলফা-তেজস্ক্রিয়তা বৃদ্ধি পাইতছিল (ডিসেম্বর, 1940)। দুই মাস ধরিয়া এই আলফা-তেজস্ক্রিয়

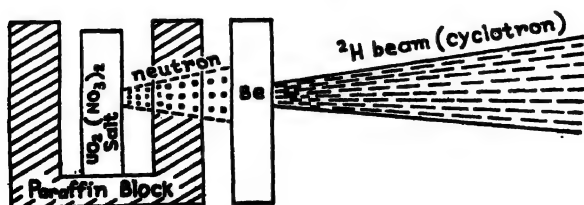
উপজাত অংশটিকে রাসায়নিক পৃথকীকরণের চেষ্টা চলিল। অবশেষে 94-ক্রমাঙ্কের মৌলটিকে আবিষ্কার করা হইল। তেজস্ক্রিয় ট্রেসার প্রযুক্তি দ্বারা প্রমাণিত হইল, এই মৌলের দুইটি প্রধান জারণস্তর (IV, VI) আছে এবং ইহার জারণের জন্য শক্তিশালী জারক দ্রব্যের প্রয়োজন (মৌল 93-এর তুলনায়)। প্রথম জারণ ক্রিয়া সম্পন্ন করা হইয়াছিল পেরোক্সিডাইসালফেট আয়ন ( $S_2O_8^{--}$ , peroxydisulfate ion) দ্বারা সিলভার আয়ন ( $Ag^+$ ) অনুঘটকের সাহায্যে (ফেল্লারী, 1941)। যুদ্ধকালীন গোপনতা রক্ষার জন্য মৌল 94 এর সাক্ষেতিক নাম ছিল “তামা” (Copper) আর আসল “তামা” ধাতুকে অভিহিত করা হইত “ঈশ্বরের মতো সৎ তামা” (Honest to God Copper)। অবশেষে 1942 সালে মৌল 94 কে “প্লুটোনিয়াম” (Plutonium) আখ্যা দেওয়া হইল, নেপ্‌চুনিয়ামের নামকরণের অনুরূপভাবে। ইউরেনাস গ্রহের পরবর্তী দ্বিতীয় গ্রহ “প্লুটো” (Pluto)।

প্লুটোনিয়াম আবিষ্কারের অনতিকাল পরে ইহার মূল্যবান আইসোটোপ, প্লুটোনিয়াম-239 আবিষ্কৃত হইল। ইহা নেপ্‌চুনিয়াম-239 এর “তেজস্ক্রিয় কন্যা” (Radioactive daughter)।



এই আবিষ্কার পরমাণুশক্তি বিজ্ঞানের ইতিহাসে এক গুরুত্বপূর্ণ পদক্ষেপ। পারমাণবিক বিখণ্ডনে ইউরেনিয়াম-235 অপেক্ষা প্লুটোনিয়াম-239 বেশী কার্যকরী।

**প্রস্তুত প্রণালী**—একটি বড় মোমের আধারে (paraffin block)



চিত্র 6.1 : প্লুটোনিয়ামের প্রস্তুত প্রণালী।

1.2 কিলোগ্রাম ইউরেনিয়াম নাইট্রেট লবণ ন্যস্ত করা হইল (চিত্র 6.1)। এই আধারটির সামনে ছিল বেরিলিয়াম খাত্তর লক্ষ্যবস্তু (target) বাহার উপরে 60" সাইক্লোট্রনের ডয়টারন রশ্মি (deuteron beam) সম্পাত করা হইল। বেরিলিয়াম হইতে নির্গত নিউট্রন কণা দুইদিন ধরিয়৷ ইউরেনিয়াম লবণকে আক্রান্ত করিল। নিউট্রনের সংঘাতে উপরোক্ত

$${}^9_4\text{Be} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^9_5\text{B} + {}^1_0\text{n}$$

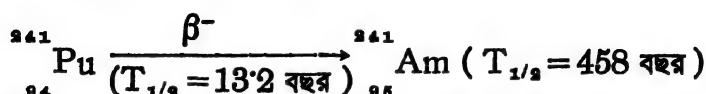
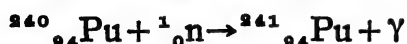
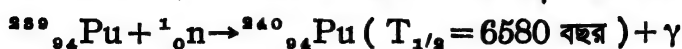
বিক্রিয়া অনুযায়ী ইউরেনিয়াম লবণে প্লুটোনিয়াম-239 উদ্ভূত হয়। রাসায়নিক প্রক্রিয়ায় পৃথকীকরণ করা হইল। তেজস্ক্রিয় ইউরেনিয়াম লবণকে ক্রমাগত ডাই-ইথাইল ইথার (diethyl ether) সহযোগে নিষ্কাশন করা হইল। নেপ্‌চুনিয়াম-239 কে ল্যান্থানাম ও সিরিয়াম ফ্লুরোরাইড বাহকের (carrier) দ্বারা পৃথক্ করা হইল এবং ছয়বার অধঃক্ষেপণ করিয়া (precipitation) ইউরেনিয়াম হইতে সম্পূর্ণরূপে শোধন করা হইল। নেপ্‌চুনিয়াম-239 এর “তেজস্ক্রিয় কন্যা” প্লুটোনিয়াম-239। এইভাবে প্রায় 0.5 মাইক্রোগ্রাম ( $\mu\text{g}$ , microgram =  $10^{-6}$  gram) প্লুটোনিয়াম-239 প্রস্তুত করা হইয়াছিল। ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলশ্রেণীর মধ্যে একমাত্র প্লুটোনিয়ামকেই তোলনযোগ্য (weighable) মাত্রায় উৎপন্ন করা সম্ভবপর হইয়াছে।

প্লুটোনিয়াম-239 এর বিখণ্ডন প্রবণতা (fissionability) ইউরেনিয়াম-235 এর চেয়ে 50% ভাগ বেশী প্রমাণিত হওয়ার পর ইহাকে সাময়িক অস্ত্র হিসাবে ব্যবহার করা বাইতে পারে—বিজ্ঞানীদের এই ধারণা বদ্ধমূল হইল। তখন যুদ্ধকালীন গোপনতার পরিবেশে সীবর্গের নেতৃত্বে হ্যান্‌ফোর্ড (Hanford) কারখানায় ব্যাপকহারে প্লুটোনিয়াম উৎপাদনের কাজ চলিল। গবেষণাগারের প্রাথমিক পর্যায়ের অতিউন পরিমাণ স্তর (ultra-micro scale) হইতে কিলোগ্রাম স্তর পর্যন্ত উন্নীত করা অর্থাৎ  $10^9$  গুণের বেশী মাত্রায় উৎপাদন এক অভূতপূর্ব রাসায়নিক কৃতিত্ব। প্লুটোনিয়াম শিল্প সম্বন্ধে আরও বিস্তারিত আলোচনা পরবর্তী পরিচ্ছেদে করা হইবে (বিসমাখ ফস্‌ফেট পদ্ধতি ও জারণ-বিজারণ চক্র)।

৬.৪ মৌল 95 : আমেরিসিয়াম (Americium, Am) ও  
মৌল 96 : কুর্লিয়াম (Curium, Cm)

প্লুটোনিয়াম উৎপাদনের পদ্ধতি উদ্ভাবনের পর ইহার পরবর্তী মৌলগুলির অনুসন্ধান কার্য চলিল সীবর্গের নেতৃত্বে। মৌল 95 ও 96 এর অস্তিত্ব

অনুমান করা গেলেও ইহাদের পৃথকীকরণের দুরূহ সমস্যা ছিল। উক্ত গবেষকগোষ্ঠীর নিকট ইহা প্রতীয়মান হইল যে, এই মৌল-দুইটি এক মৌল-শ্রেণীর পরিবারভূক্ত, ইহাদের রাসায়নিক ধর্মের সাদৃশ্য আছে এবং জারণস্তর +3 হইতে +4-এ উন্নীত করা সহজসাধ্য নয়। 1945 সালে প্লুটোনিয়ামকে নিউট্রন দ্বারা আক্রান্ত করিয়া মৌল 95 প্রস্তুত করা হইয়াছিল।



ইহার আগে 1944 সালে প্লুটোনিয়াম-239 হইতে আলফা কণার কেন্দ্রক বিক্ৰিয়া দ্বারা মৌল 96 আবিষ্কৃত হইল।



কেন্দ্রক বিক্ৰিয়াটি বার্কলের গবেষণাগারে অনুষ্ঠিত হইয়াছিল। তারপর শিকাগোর খাতুবিদ্যা গবেষণাগারে রাসায়নিক পৃথকীকরণ ও সনাক্তকরণ সম্পন্ন হইয়াছিল (সপ্তম পরিচ্ছেদ)।

শিকাগোর গবেষণাগারে কানিংহাম (B. B. Cunningham) 1945 সালে সর্বপ্রথম বিশুদ্ধ আমেরিকিয়াম-241 হাইড্রোক্সাইড যৌগ প্রস্তুত করিয়াছিলেন। অনুরূপভাবে ওয়ার্নার ও পার্লম্যান (L. B. Werner and J. Perlman) 1947 সালে বিশুদ্ধ কুরিয়াম-242 হাইড্রোক্সাইড অক্সাইড (মাত্র কয়েক মাইক্রোগ্রাম) প্রস্তুত করিয়াছিলেন।

বার্কলের বিজ্ঞানীমণ্ডলী মৌল 95 ও 96 নামকরণ করিলেন স্বদেশ আমেরিকার নামে (আমেরিকিয়াম) এবং রেডিয়ামের আবিষ্কর্তা কুরী দম্পতীর নামে (কুরিয়াম)। প্রসঙ্গতঃ উল্লেখযোগ্য, মৌল 93—96 এর আবিষ্কর্তারা ইউরেনিয়ামোস্টর মৌলশ্রেণীর সঙ্গে বিরলভূমিক মৌল-শ্রেণী (Rare earth) রাসায়নিক সাদৃশ্য লক্ষ্য করিয়াছিলেন (পরিচ্ছেদ ৮)। নামকরণের সময় তাঁহারা পৰ্যবেক্ষণ করিয়াছিলেন যে, মৌল 95 এর সদৃশ বিরলভূমিক মৌল। ইউরোপিয়াম (Europium) (মৌল 63) অভিহিত হইয়াছিল, ইউরোপের নামানুসারে এবং মৌল 96 এর সদৃশ বিরলভূমিক মৌল, গ্যাডোলিনিয়াম (Gadolinium: দ্রব্যাক্ষ 64) আখ্যাত হইয়াছিল ফিনল্যান্ডীয় বিজ্ঞানী গ্যাডোলিনের (J. Gadolin) নামানুসারে।

৬.৫ মৌল 97 : বার্কেলিয়াম (Berkelium, Bk) ও মৌল 98 : ক্যালিফোর্নিয়াম (Californium, Cf)

কুরিয়ামের পরবর্তী মৌলগুলি আবিষ্কারের উৎকট সমস্যা দেখা দিল — কুরিয়ামের তীব্র তেজস্ক্রিয়তার জন্য কুরিয়াম হইতে কন্যা মৌলদের পৃথকীকরণ অত্যন্ত দুর্লভ ব্যাপার। ইহার সঙ্গে সংশ্লিষ্ট ছিল উপযুক্ত রাসায়নিক প্রণালীর উদ্ভাবনের সমস্যা। এই সব সমস্যার সমাধান হইল 1949 সালের শেষের দিকে ও 1950 সালের প্রথমভাগে।

আমেরিকিয়াম-241 ( মিলিগ্রাম মাত্রা ) লক্ষ্যবস্তুকে আলফা-কণা দ্বারা আক্রান্ত করিয়া মৌল 97 উৎপন্ন করা হইল একই বিজ্ঞানীগোষ্ঠী সীবার্গ, টম্‌সন ও গিওরসো (Seaborg, S. G. Thompson and A. Ghiorso) দ্বারা।



অনতিকাল পরে 1950 সালের ফেব্রুয়ারী মাসে মৌল 98 উৎপন্ন হইল কুরিয়াম-242 (মাইক্রোগ্রাম পরিমাণ) ও 60" সাইক্লোট্রন নিঃসৃত 35 Mev আলফা-কণার কেন্দ্রক বিক্রিয়া হইতে ( সীবার্গ, টম্‌সন, স্ট্রীট ও গিওরসো —Seaborg, Thompson, Street and Ghiorso )।



ঐ সময়ে মোট 5000 পরমাণু লইয়া মৌল 98 এর সনাক্তকরণ সম্পন্ন হইয়াছিল। জনৈক বিজ্ঞানী মন্তব্য করিয়াছিলেন যে, ক্যালিফোর্নিয়া বিশ্ব-বিদ্যালয়ের ছাত্রছাত্রীসংখ্যা ঐ সময়ে 5000 এর অনেক বেশী ছিল।

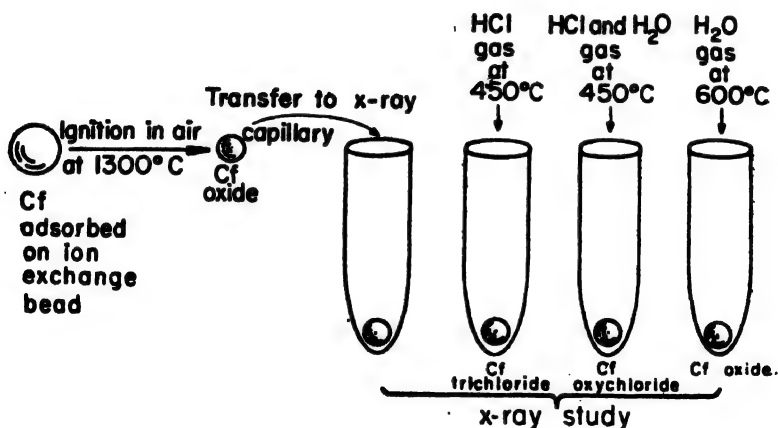
মৌল 97 ও 98 কে রাসায়নিক পৃথকীকরণ ও সনাক্তকরণ সম্ভবপর হইয়াছিল আয়ন বিনিময় প্রযুক্তির (Ion exchange technique) সাহায্যে ( সপ্তম পরিচ্ছেদ )। আমেরিকিয়াম লক্ষ্যবস্তু হইতে মৌল 97 কে পৃথক করা হইয়াছিল দুর্লভ রাসায়নিক প্রণালী দ্বারা। আমেরিকিয়ামকে জারিত করা হইয়াছিল VI স্তরে এবং বিরলভূমিক মৌলের ক্লোরাইড সহযোগে মৌল 97 কে সহায়কাক্ষিপ্ত করা হইয়াছিল। কুরিয়াম লক্ষ্যবস্তু হইতে মৌল 98 কে প্রাথমিকভাবে পৃথক করা হইয়াছিল আয়ন বিনিময় পদ্ধতি দ্বারা।

অনুরূপভাবে বিরলভূমিক মৌলের নামকরণের সঙ্গে সামঞ্জস্য রাখিয়া মৌল 97 ও 98 এর নামকরণ করা হইল। বিরলভূমিক মৌল 65, টার্বিয়ামের

(Terbium) নাম দেওয়া হইয়াছিল সুইডেনের ইটারবি (Ytterby) শহরের নামে যেখানে আগে অনেক বিরলভূমিক মৌলের খনিজ পাওয়া গিয়াছিল। মৌল 97 তাই আখ্যাত হইল আবিষ্কারের পীঠস্থান বার্ক লে শহরের নামে—বার্কেলিয়াম (Berkelium)। মৌল 98 অভিহিত হইল ক্যালিফোর্নিয়াম (Californium)—ক্যালিফোর্নিয়া রাজ্যের সম্মানে।

1958 সালে কানিংহাম ও টম্‌সন (B. B. Cunningham & S. G. Thompson) থুটোনিয়াম-239 ও নিউট্রনের কেন্দ্রক বিক্রিয়া হইতে অধিকমাত্রার বার্কেলিয়াম প্রস্তুত করিলেন। 1962 সালে কানিংহাম ও ওয়ালম্যান (Cunningham & Wallmann) 0.02 মাইক্রোগ্রাম ( $0.02 \times 10^{-6}$  gram) বার্কেলিয়াম-249 ডাই-অক্সাইড যৌগ প্রস্তুত করিয়াছিলেন এবং ইহা হইতে 0.002 মাইক্রোগ্রাম ( $2 \times 10^{-6}$  gram) ব্যবহার করিয়াছিলেন আণবিক গঠন পরীক্ষার কার্যে।

1960 সালে কানিংহাম ও ওয়ালম্যান  $3 \times 10^{-7}$  গ্রাম ক্যালিফোর্নিয়াম-249 অক্সিজেনাইড প্রস্তুত করিয়াছিলেন। তাঁহারা ইহার



চিত্র 6.2 : ক্যালিফোর্নিয়াম যৌগগুলির প্রস্তুত পদ্ধতি।

কোলাস গঠন-বিন্যাস (Crystal structure) রজন-রশ্মি বিক্ষেপণ পদ্ধতি (X-ray diffraction) দ্বারা পরীক্ষা করিয়াছিলেন। এই পরীক্ষার বিশুদ্ধ অক্সাইড ও ট্রাইক্লোরাইড যৌগ ব্যবহৃত হইয়াছিল (পরিচ্ছেদ ৭ দ্রষ্টব্য)।

### ৬.৬ মৌল 99 : আইনস্টাইনিয়াম (Einsteinium, Es) ও মৌল 100 : ফের্মিয়াম (Fermium, Fm)

প্রশান্ত মহাসাগরের এক দ্বীপপুঞ্জ থার্মোনুক্লিয়ার বিস্ফোরণে (Thermonuclear explosion) উদ্ভূত তেজস্ক্রিয় ভস্মরাশি (Radioactive fallout) হইতে মৌল 99 ও 100 আবিষ্কৃত হইয়াছিল (1952)। এক বিমানের সঙ্গে সংলগ্ন ফিলটার কাগজের সাহায্যে ঘটনাস্থলে মেঘপুঞ্জের উপর দিয়া উড়িয়া ঘাইবার সময় উক্ত ভস্মরাশি প্রথমে সংগৃহীত করা হইল। পরে অধিকমাত্রায় সংগ্রহ করা হইল ঘটনাস্থলের নিকটবর্তী এক প্রবাল দ্বীপপুঞ্জ হইতে। উল্লিখিত ভস্মরাশি আমেরিকার বিভিন্ন গবেষণাগারে পরীক্ষা করা হইল। প্রথমে শিকাগোর আর্গন জাতীয় গবেষণাগারে (Argonne national laboratory) এবং পরে মেন্ডেলিভের ক্যালিফোর্নিয়া বিশ্ববিদ্যালয়ের লস এলামস গবেষণাগারে (Los Alamos scientific laboratory)। পরীক্ষার ফলে প্রুটোনিয়াম-244 ও প্রুটোনিয়াম-246 এর অস্তিত্ব দেখা গেল। ইহা হইতে আয়ন বিনিময় পরীক্ষার দ্বারা নূতন মৌল 99 ও 100 এর সন্ধান পাওয়া গেল। 6.6 Mev শক্তি ও 22 দিন অর্ধায়ুস্ফাল বিশিষ্ট আলফা-সক্রিয় মৌল 99 এবং 7.1 Mev শক্তি ও 22 ঘণ্টা অর্ধায়ুস্ফাল বিশিষ্ট আলফা-সক্রিয় মৌল 100 সনাক্তকরণ হইল (19 ডিসেম্বর, 1952 ; 1 মার্চ, 1953)। প্রসঙ্গতঃ উল্লেখযোগ্য, মাত্র 200 পরমাণু লইয়া মৌল 100 সনাক্ত করা হইয়াছিল। পরমাণুর শক্তির ভগ্নাংশ, আইনস্টাইনের সম্মানে মৌল 99 এর নামকরণ হইল আইনস্টাইনিয়াম (Einsteinium, Es) এবং ফের্মির সম্মানে মৌল 100 অভিহিত হইল ফের্মিয়াম (Fermium, Fm)। গবেষণাগারে পরমাণু-চুল্লীতে প্রুটোনিয়াম-239 কে  $2/3$  বছর নিউট্রন দ্বারা আক্রান্ত করার পর অতি জটিল রাসায়নিক প্রক্রিয়া দ্বারা মাত্র কয়েক মাইক্রোগ্রাম বিশুদ্ধ আইনস্টাইনিয়াম-253 উৎপন্ন করা হইয়াছিল।

### ৬.৭ মৌল 101 : মেন্ডেলিভিয়াম (Mendelevium, Md)

মৌল 101 আবিষ্কার এক নাটকীয় ঘটনার মতো চমকপ্রদ। ইউরেনিয়ামোসের মৌলশ্রেণীর ভারী মৌলগুলি পৃথক ও সনাক্ত করা উত্তরোত্তর দুরূহ ছিল কারণ ইহাদের অর্ধায়ুস্ফাল (Half-life) হ্রাস হইতে হ্রাসতর হইতেছিল এবং প্রভূত তেজস্ক্রিয় লক্ষ্যবস্তু হইতে উক্ত ক্ষণজীবী মৌলগুলির শুদ্ধিকরণের গুরুতর সমস্যা ছিল। কিন্তু বার্কলের বিজ্ঞানীগোষ্ঠীর অতদূর সাধনার বলে



এই অসাধ্যসাধনও সম্ভবপর হইল। হিসাব করিয়া দেখা গেল যে,  $10^9$  পরমাণু বিশিষ্ট আইনস্টাইনিয়াম-253 লক্ষ্যবস্তুকে যদি 40 Mev শক্তি-বিশিষ্ট আলফা-কণা দ্বারা ( $10^{14}$  কণা প্রতি সেকেন্ডে প্রতি বর্গ-সেণ্টিমিটার আয়তনে) 27 ঘণ্টা ( $=10^4$  সেকেন্ড) অবিচ্ছিন্নভাবে আঘাত করা হয়, তবে মৌল 101 এর 1টি পরমাণু পাওয়া যাইবে।

$$N = N_1 \sigma I t$$

$N$  = মৌল 101 এর পরমাণুসংখ্যা ;

$N_1$  = লক্ষ্যবস্তুর পরমাণুসংখ্যা ( $=10^9$ )

$\sigma$  = কেন্দ্রক বিক্ষিপ্তার প্রস্থচ্ছেদ (cross-section) ( $=10^{-27}$  বর্গ-সেণ্টিমিটার)

$I$  = আলফা-কণা প্রবাহ মাত্রা ( $=10^{14}$  কণা প্রতি সেকেন্ডে প্রতি বর্গ-সেণ্টিমিটারে) ;

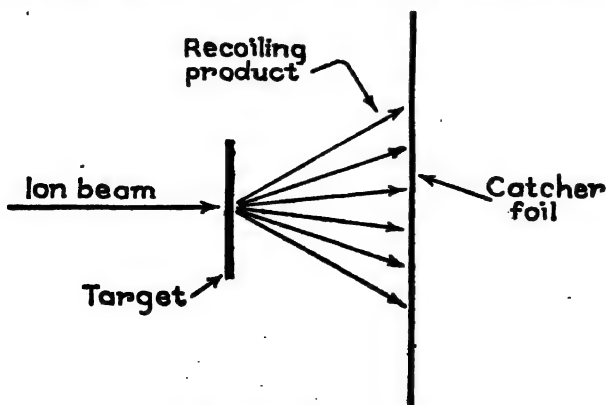
$t$  = আক্রমণের ব্যাপ্তিকাল ( $=10^4$  সেকেন্ড)

উপরের সমীকরণে যথাযথ মানগুলি বসাইয়া আমরা পাই—

$$N = (10^9)(10^{-27})(10^{14})(10^4) = 1$$

অর্থাৎ উপরোক্ত সর্তে মৌল 101 এর উৎপাদন হইবে মাত্র একটি পরমাণু।

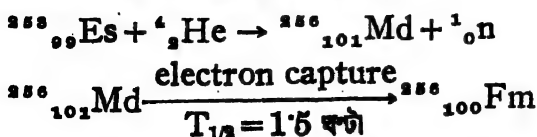
ইহা হইতে পরীক্ষার দুরূহতা সহজেই বোধগম্য হইতে পারে। লক্ষ্যবস্তুর  $10^9$  পরমাণু হইতে নূতন মৌলের মাত্র একটি পরমাণু পৃথক করা এবং 1 ঘণ্টার

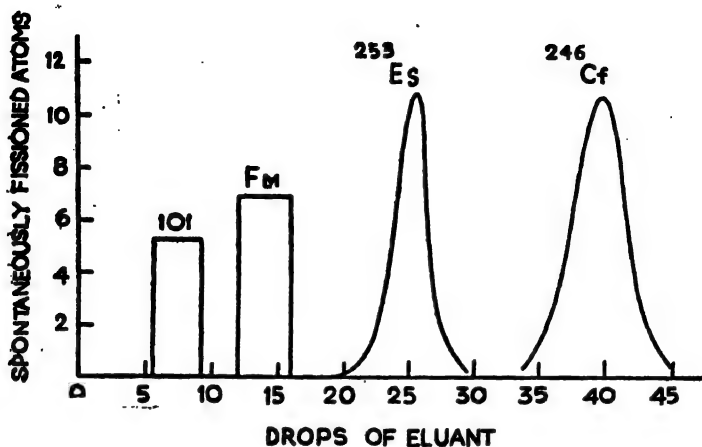
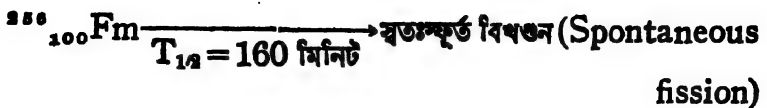


চিত্র 6.3 : প্রতিকোণ পদ্ধতি (Recoil technique)

মধ্যে এই পৃথকীকরণ ও সনাক্তকরণের কার্য সমাপ্ত করা ( কারণ অর্ধায়ুস্ফাল অল্প ) বিজ্ঞানীরা এই দুইটি কঠোর কার্যের সম্মুখীন হইলেন। এই দুঃসাধ্য কার্যের জন্য উদ্ভাবিত হইল অভিনব প্রযুক্তিবিদ্যা—প্রতিক্কেপণ পদ্ধতি (Recoil technique)। একটি সোনার পাতে আইনস্টাইনিয়ামের সূক্ষ্ম আন্তরণ ন্যস্ত করা হইল ( চিত্র 6.3 )। পাতটির পশ্চাদিকে আলফা রশ্মি নিপাতিত করা হইল। পাতটির অন্যতদূরে আর একটি সোনার পাত (Catcher foil) রাখা ছিল; মৌল 101 এর পরমাণু প্রতিক্কেপ্ত (recoil) হইয়া সংলগ্ন হইতে পারিত শেষোক্ত সোনার পাতে (Catcher foil)। শেষোক্ত সোনার পাতে কেবল মৌল 101 এর পরমাণু ছিল এবং মূল আইন-স্টাইনিয়ামের কোনও পরমাণুর অস্তিত্ব থাকার সম্ভাবনা ছিল না। এই শেষোক্ত সোনার পাতটিকে পরীক্ষাণ্ডে দ্রবীভূত করিয়া আয়ন বিনিময় প্রক্রিয়া দ্বারা নূতন মৌলের অনুসন্ধান চলিল। পুঙ্খানুপুঙ্খরূপে পরীক্ষার পর পর্যবেক্ষণ করা হইল যে, আয়ন বিনিময় চিত্রলেখে মৌল 100 ও 101 এর অংশ (fraction) আবির্ভাবের সময় স্বতঃস্ফূর্ত পরমাণু বিখণ্ডন-জনিত তেজস্ক্রিয়তা (Spontaneous fission) বৃদ্ধি পাইল। এই পরমাণু বিখণ্ডনের গণনা (fission counts) বাহাতে সকলের গোচরীভূত হয় সেইজন্য গবেষণাগারের গণনাকারক সার্কিটের (counting circuit) সঙ্গে রসায়ন-শবনের অগ্নি-নির্বাপক ঘণ্টা সংলগ্ন করা হইল। প্রতিবার পরমাণু বিখণ্ডনের ঘটনা সংঘটিত হওয়ার সঙ্গে সঙ্গে অগ্নিনির্বাপক ঘণ্টা সজোরে ধ্বনিত হইতে লাগিল। অবশ্য অল্পকাল পরে সরকারী অগ্নিনির্বাপক বিভাগের হস্তক্ষেপে বার্ক্লে-বিজ্ঞানীদের উক্ত কোশল-প্রয়োগ ক্ষান্ত হইল।

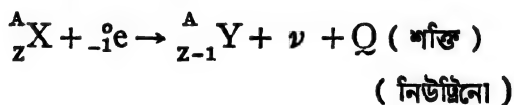
1955 সালের 18 ফেব্রুয়ারী সারারাত্রিব্যাপী এক ঐতিহাসিক পরীক্ষা অনুষ্ঠিত হইয়াছিল। তিন ঘণ্টা যাবৎ আলফা রশ্মির আক্রমণ তিন বার উপযুক্ত পরিচালিত হইল এবং বিক্রিয়াজ পদার্থগুলি আয়ন বিনিময় প্রক্রিয়ায় স্বল্প পৃথক ও সনাক্ত করা হইল। মৌল 101 এর অবস্থানে মোট 5টি গণনা (Count) এবং মৌল 100 এর অবস্থানে 8টি পরমাণু বিখণ্ডনের কাউন্ট দেখা গেল ( চিত্র 6.4 )। আয়ন বিনিময় চিত্রলেখ সম্বন্ধে বিশদ আলোচনা পরবর্তী পরিচ্ছেদে করা হইবে।





চিত্র 6.4 : মৌল 101 আবিষ্কারের আয়ন-বিনিময় চিত্রলেখ।

কেন্দ্রক কর্তৃক K-স্তরের ইলেকট্রন অধিকার করাকে Electron capture বা K-capture বলা হয়। এই প্রক্রিয়ার কেন্দ্রকের আধান হ্রাস পায় এবং নিম্নতর ক্রমাঙ্কের কেন্দ্রকে পরিণত হয়। সাধারণভাবে এই ধরনের বিক্রিয়া লেখা হয় :

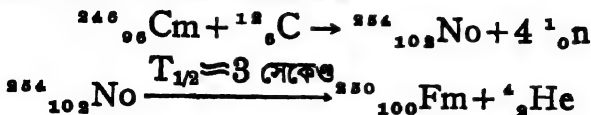


মৌল 101 এর নামকরণ হইল মেণ্ডেলিভিয়াম (Mendelevium) পর্যায়-সারণীর স্রষ্টা রুশ বিজ্ঞানী মেণ্ডেলিভের সম্মানে সাক্ষাৎকি চিহ্ন নির্দিষ্ট হইল Md। পরে অধিকমাত্রায় আইনস্টাইনিয়াম লইয়া কয়েক সহস্র মেণ্ডেলিভিয়ামের পরমাণু উৎপাদন করা হইয়াছিল।

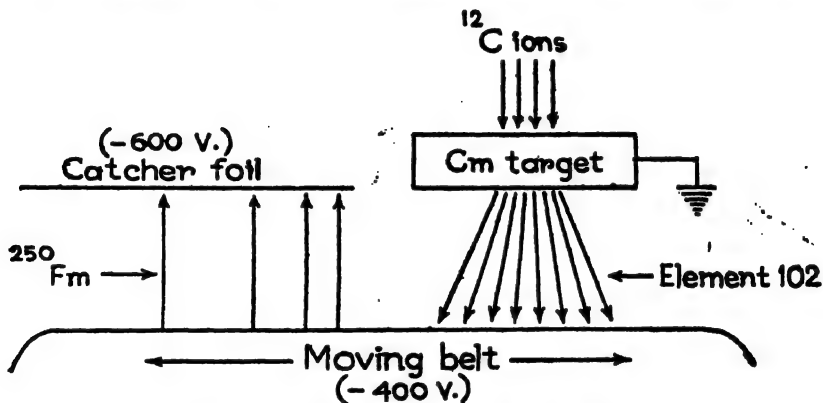
#### ৬.৮ মৌল 102 : নোবেলিয়াম (Nobelium, No)

1957 সালে স্টকহল্মের পদার্থবিদ্যার নোবেল ইনস্টিটিউটে এক আন্তর্জাতিক বিজ্ঞানীগোষ্ঠী (ইংল্যান্ড, সুইডেন ও আমেরিকা যুক্তরাষ্ট্র) মৌল 102 আবিষ্কার ঘোষণা করিলেন। কুরিয়াম-244 ও কার্বন-13 আয়নের

কেন্দ্রক বিক্রিয়া হইতে এই নূতন মৌল উদ্ভূত হইল। 1958 সালে ক্যালিফোর্নিয়া বিশ্ববিদ্যালয়ের অভিনব যন্ত্র Heavy Ion Linear Accelerator ( সংক্ষেপে HILAC) এর সাহায্যে মৌল 102 উৎপন্ন হইল কুরিয়াম-246 কার্বন 12 বিক্রিয়া দ্বারা।



এক অভিনব পদ্ধতিতে মৌল 102 কে লক্ষ্যবস্তু কুরিয়াম-244 হইতে অপসারণ এবং ইহার “কন্যা মৌল” (daughter element) হইতে পৃথক্ করা হইল (চিত্র 6.5)। একটি পাতলা নিকেল পাতের উপর

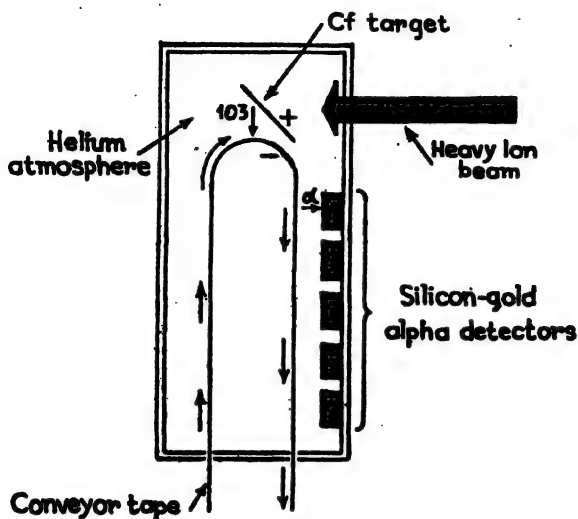


চিত্র 6.5 : মৌল 102 আবিষ্কারের জন্ত সন্ধ্যাম।

কুরিয়ামের আন্তরণ প্রস্তুত করা হইল এবং ইহাকে হিলিয়াম গ্যাসপূর্ণ আধারে সংরক্ষিত করা হইল। পরে এই কুরিয়াম আন্তরণের কার্বন-12 আয়ন-রশ্মির সম্পাত ঘটাইয়া বিক্রিয়াজ পরমাণুগুলি হিলিয়াম গ্যাসে অধিশোষণ করা হইল। পরাধর্মী এই পরমাণুগুলি একটি উপযুক্ত সঞ্চারণশীল অপরাধর্মী ধাতুর বলয়ে (metallic belt) আবৃত্ত করা হয়। এই বলয়টি একটি অধিকতর অপরাধর্মী আকর্ষণকারী ধাতুপাতের (catcher foil) নিচে দিয়া যাইবার সময় মৌল 102 পরমাণুর প্রায় অর্ধেকের “কন্যা পরমাণুগুলি” বলয় হইতে আকর্ষণকারী ধাতুপাতে ধাবিত হয়। এই শেষোক্ত ধাতুপাত হইতে নূতন মৌল পরমাণুর পরীক্ষা-নিরীক্ষা চলিল। অ্যালফ্রেড নোবেলের স্মরণে এই নূতন মৌলটির নামকরণ হইল নোবেলিয়াম (Nobelium)।

### ৬.৯ মৌল 103 : লরেন্সিয়াম (Lawrencium, Lw)

ভারী ইউরেনিয়ামের মৌল প্রস্তুত করণের জন্য বার্কলে-বিজ্ঞানীরা এক নতুন পরমাণু-বিভাজন যন্ত্র উদ্ভাবন করিলেন Heavy Ion Linear



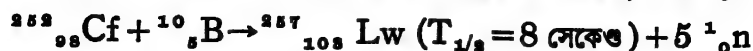
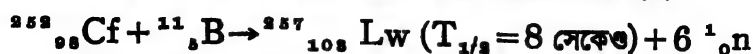
চিত্র 6.6 : মৌল 103 আবিষ্কারের বস্তুপাতি।

ক্যালিফোর্নিয়া বিশ্ববিদ্যালয়ের 60° সাইক্লোট্রন হইতে উদ্ভূত ভরটারণ রশ্মি (60-Mev শক্তি) দেখা যাইতেছে।

Accelerator (HILAC)। ইহার সাহায্যে নোবেলিয়াম উৎপাদন করা হইয়াছিল ( চিত্র 6.6 )।

এইবার গিওর্সোর (Ghiorso) নেতৃত্বে বিজ্ঞানীরা ক্যালিফোর্নিয়াম-252 ও 110-Mev বোরন আয়ন ( $^{11}\text{B}$ ) লইয়া অনুসন্ধান পরিচালনা করিলেন। একটি পাতলা নিকেল ধাতুপাতের উপর  $0.3 \times 10^{-6}$  গ্রাম) ক্যালিফোর্নিয়ামের তড়িত প্রলেপন (electroplate) দেওয়া হইল। এই লক্ষ্যবস্তুর (target) সহিত 110-Mev বোরন আয়নের কেন্দ্রিক বিক্রিয়া পরিচালিত হইল (চিত্র 6.7)। লক্ষ্যবস্তু হইতে মৌল 103 প্রাতিক্ষিপ্ত হইয়া হিলিয়াম গ্যাসে আশ্রয় গ্রহণ করে এবং পরে তাম্রপ্রলেপিত (copper-plated) প্লাস্টিক ফিতার সংলগ্নীত হয়। উক্ত ফিতা স্বয়ংক্রিয়ভাবে বিশেষ ডেজেন্ডারতা নিরূপক যন্ত্রের (Silicon-gold

radiation detector) কাছে চালিত হওয়ার পর উপজাত পরমাণুর তেজস্ক্রিয় বিভাজনের হার ও আলফা-কণার শক্তি পরিমাপ করা যায়।



মৌল 103 এর অর্ধায়ুস্কা মাত্র 8 সেকেন্ড। সাইক্লোট্রনের প্রচটা লরেসের সম্মানে ইহা লরেন্সিয়াম (Lawrencium) নামে অভিহিত।

মৌল 103 আবিষ্কারের সঙ্গে ইউরেনিয়ামোস্তর মৌলশ্রেণী (93—103) বিরলমুখিক মৌলশ্রেণীর (58—71) অনুরূপ সম্পূর্ণ হইল।

# DISCOVERY OF

## Lawrencium



চিত্র 6.7 : মৌল 103 প্রস্তুতের সরঞ্জাম।

## ৭। পরীক্ষা পদ্ধতি ও প্রযুক্তি ( Experimental Methods & Techniques )

ইউরেনিয়ামোসুর মৌলশ্রেণী এক অভূতপূর্ব মৌল সমাবেশ কারণ ইহারা কৃত্রিম, গবেষণাগারে সৃষ্ট, ইহাদের তেজস্ক্রিয়তা অত্যধিক এবং প্লুটোনিয়াম ছাড়া ইহারা অত্যন্ত অল্প পরিমাণে ( 1 হইতে  $10^{-12}$  পরমাণু ) উৎপন্ন হয়। ইহাদের আবিষ্কার ও রাসায়নিক অনুসন্ধানের জন্য অভিনব পদ্ধতি ও প্রযুক্তি উদ্ভাবিত হইয়াছিল।

### ৭.১ তেজস্ক্রিয় পদার্থ গবেষণার সরঞ্জাম

ইউরেনিয়ামোসুর মৌলশ্রেণী অত্যধিক তেজস্ক্রিয় হওয়ার ইহাদের নাড়াচাড়া করার জন্য বিশেষ ব্যবস্থা ও সরঞ্জাম ব্যবহার করা অবশ্য প্রয়োজনীয়। হাতে রবারের দস্তানা পরা দরকার এবং অনুসন্ধানের কার্যাদি একটি বিশেষ দস্তানা-বাক্সের (Gloved box) মধ্যে সম্পন্ন করা হয়। সীসা-জানালা (Lead glass window) সম্বলিত বিশেষ ব্লক প্রকোর্ডের অভ্যন্তরে তেজস্ক্রিয় পদার্থ ও পরীক্ষার সমস্ত সরঞ্জাম রাখা হয় এবং দূর-নিয়ন্ত্রক (remote control) যান্ত্রিক হাতের সাহায্যে (master-slave manipulator) উক্ত প্রকোর্ডের বাহির হইতে বাবতীয় পরীক্ষার কার্য পরিচালনা করা হয়। ইহার জন্য বিশেষ প্রশিক্ষণ ও দক্ষতা অর্জন করা আবশ্যিক।

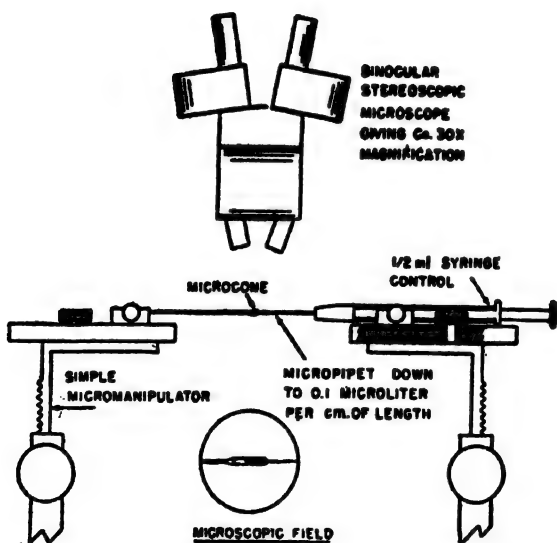
একমাত্র প্লুটোনিয়াম ছাড়া এই মৌল শ্রেণীর অন্যান্য মৌলগুলি অত্যন্ত অল্পমাত্রায় (  $1 - 10^{-12}$  পরমাণু বা  $10^{-9}$  গ্রাম ) উৎপন্ন হইয়াছিল বাহা আদৌ তৌলনযোগ্য বা দৃশ্যমান ছিল না। এত অল্পমাত্রায় রাসায়নিক গবেষণার কাজ সম্পন্ন করিবার জন্য তেজস্ক্রিয় ট্রেসার প্রযুক্তি ব্যবহৃত হইত ( দ্বিতীয় পরিচ্ছেদ )। তবে আলোচ্য ক্ষেত্রে তেজস্ক্রিয় পরমাণু বা কেন্দ্রকটির (Nuclide) গতিপথ রাসায়নিক প্রক্রিয়ার বিভিন্ন পর্যায়ে অনুধাবন করা হয়, ইহার তেজস্ক্রিয়তা ও শক্তি (energy) পরিমাপনের দ্বারা। অধঃক্ষেপণ প্রক্রিয়ার জন্য তেজস্ক্রিয়তাশূন্য বাহক আইসোটোপ (Non-radioactive



carrier isotope) ব্যবহার করা হয়। দৃষ্টান্তরূপ, প্লুটোনিয়াম ফস্ফেট অধঃক্ষেপণের জন্য বিসমাথ ফস্ফেট ব্যবহৃত হয়। কিন্তু আয়ন বিনিময় প্রক্রিয়ার জন্য কোনও বাহক আইসোটোপের প্রয়োজন হয় না। পূর্বেই উল্লিখিত হইয়াছে যে, ঐসার প্রযুক্তির সাহায্যে মৌলটির জারণস্তর (oxidation state), যৌগ আয়ন, বিভিন্ন যৌগের দ্রাব্যতা সম্বন্ধে প্রয়োজনীয় তথ্য পাওয়া যায়। অবশ্য কয়েকটি ধর্ম-নিরূপণে যেমন— ক্রিস্টালের গঠনবিন্যাস (crystal structure), ধাতু নিষ্কাশন, বর্ণালী লেখ (spectroscopy) ইত্যাদিতে ঐসার প্রযুক্তি প্রযোজ্য হয়।

## ৭.২ বিশেষ রাসায়নিক প্রযুক্তি

অদৃশ্যমান ও অতীলনযোগ্য ইউরেনিয়ামোক্তর মৌলের (ব্যতিক্রম : প্লুটোনিয়াম) রাসায়নিক অনুসন্ধানের এক বিশেষ প্রযুক্তি উদ্ভাবিত হইল—



চিত্র 7.1 : অতিউন পরিমাণ করে অধঃক্ষেপণ বিক্রিয়া  
অনুধাবন করিবার যন্ত্রপাতি।

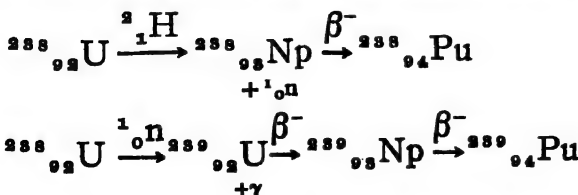
অতিউন রাসায়নিক প্রণালী (ultramicro chemical technique) ঐ  
উক্ত প্রযুক্তির উদ্ভাবক কানিংহাম ও ওনার্সার (Cunningham &  
Werner, 1942)। অধিকারণ ক্ষেত্রে দ্রবণের পরিমাণ  $10^{-1}$  হইতে

$10^{-5}$  মিলিলিটার ;  $0.1-1$  মিলিলিটার ব্যাসযুক্ত কাচের নল হইতে প্রস্তুত পরীক্ষানল (test tube) ও বীকার ;  $0.1-100$  মাইক্রোগ্রাম কঠিন বিকারক দ্রব্য ও অধঃক্ষেপ ইত্যাদি পরীক্ষায় ব্যবহার করা হইত। অত্যল্প পরিমাণ ( $10^{-9}$  গ্রাম) পরিমাপের জন্য উচ্চ সুবেদিতাসম্পন্ন তৌলকযন্ত্র (highly sensitive balance) উদ্ভাবিত হইল এবং পরীক্ষা-নিরীক্ষার কার্য সম্পন্ন হইত অণুবীক্ষণ যন্ত্রের যান্ত্রিক মঞ্চে (mechanical stage) ( চিত্র 7.1)।

রজনরশ্মি বিচ্ছুরণ প্রণালী দ্বারা কেলাস চূর্ণের অণুবিন্যাস নিরূপিত হইত। অত্যল্প পরিমাণের জন্য ইউরেনিয়ামোসের মৌলের একক কেলাস (single crystal) প্রস্তুত করা সম্ভবপর ছিল না, তাই কয়েক মাইক্রোগ্রাম ( $0.01-0.1$ ) কেলাস চূর্ণ ব্যবহৃত হইত। দৃষ্টান্তরূপ, আমন বিনিময় রজন কণার (Resin bead) উপর  $0.1-0.2$  মাইক্রোগ্রাম ক্যালিফোর্নিয়াম বোণের কেলাস গঠন অনুসন্ধান করা হইয়াছিল। একটি পরাধর্মী রজন কণার উপর ক্যালিফোর্নিয়াম দ্রবণ অধিশোষণ (adsorbed) করা হইল। পরে ইহাকে শুষ্ক করিয়া  $1300^{\circ}$  সেণ্টিগ্রেড তাপে তপ্ত করা হইল। ফলে ক্যালিফোর্নিয়াম অক্সাইড বোঁগ প্রস্তুত হয়। এই অক্সাইড বোঁগ সহ রজন-কণা ট্রাইক্লোরাইড, অক্সিক্লোরাইড এবং শেষে আবার অক্সাইডে পরিণত হয়। এই তিনটি বোঁগের কেলাস গঠন বিন্যাস রজনরশ্মি বিচ্ছুরণ প্রক্রিয়ার (x-ray diffraction) আলোকপাত করা হইয়াছিল ( চিত্র 6.2)।

### ৭.৩ প্লুটোনিয়াম উৎপাদন পদ্ধতি

পূর্ববর্তী পরিচ্ছেদে প্লুটোনিয়াম আবিষ্কার প্রসঙ্গে উল্লেখ করা হইয়াছে প্রথমে প্লুটোনিয়াম-238 এবং শেষে প্লুটোনিয়াম-239 পাওয়া যায় ইউরেনিয়ামের সঙ্গে যথাক্রমে ডয়টারন ও নিউট্রনের কেন্দ্রক বিক্রিয়া দ্বারা।



প্লুটোনিয়াম-239 অতি সহজেই পরমাণু বিখণ্ডন দ্বারা সম্পন্ন করে। তাই বিজ্ঞানীদের ধারণা হইল, ইহাকে পরমাণু শক্তির উৎস হিসাবে ব্যবহার করা বাইতে পারে। ইহার ফলস্বরূপ, সীবর্গের নেতৃত্বে হ্যানফোর্ড কারখানায়

প্লুটোনিয়াম শিল্পপ্রকল্প প্রচলিত হইল। অজৈব রসায়নের ইতিহাসে ইহা এক যুগান্তকারী ঘটনা।

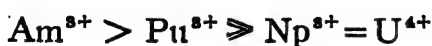
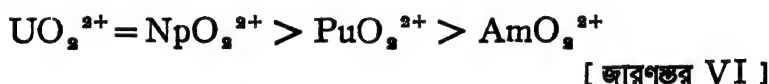
নিউক্লি়ের বিক্রিয়াজনিত ইউরেনিয়াম হইতে ( বা প্লুটোনিয়াম হইতে ) অনেক উপজাত দ্রব্য উৎপন্ন হয়। পারমাণবিক বিখণ্ডনের সঙ্গে প্রায় দুই শত উপজাত আইসোটোপ (Fission Product) উদ্ভূত হয়। ইহাদের তালিকা—  
বিশেষতঃ দীর্ঘজীবী এবং উচ্চ উৎপাদন যাত্রা বিশিষ্ট পদার্থগুলি নিচে দেওয়া হইল।

সারণী 7.1 : দীর্ঘজীবী বিখণ্ডনজাত পদার্থ  
( উচ্চ উৎপাদন যাত্রা )

বিখণ্ডনজাত মৌল	উৎপাদন শতাংশ, %	অর্ধায়ুকাল	বিটা-কণার শক্তি, Mev	গামা রশ্মির শক্তি Mev
<sup>86</sup> Kr	0.24	9.4 বছর	0.695 ; 0.15	0.54
<sup>90</sup> Sr	4.6	53 দিন	1.463	—
<sup>90</sup> Sr	5.3	19.9 বছর	0.61	—
<sup>91</sup> Y	5.4	61 দিন	1.537	1.2 ; 0.2
<sup>95</sup> Zr	6.4	65 দিন	0.84 ; 0.371	0.721
<sup>99</sup> Tc	6.2	$2.12 \times 10^5$ বছর	0.290	—
<sup>103</sup> Ru	3.7	39.8 দিন	0.698 ; 0.217	0.498
<sup>106</sup> Ru	0.5	1.0 বছর	0.39	—
<sup>131</sup> I	2.8	8.14 দিন	0.608 ; 0.815	0.722 ; 0.637
<sup>135</sup> Xe	6	5.27 দিন	0.345	0.08
<sup>137</sup> Cs	6.2	33 বছর	0.523 ; 1.2	0.662
<sup>140</sup> Ba	6.1	12.8 দিন	0.48 ; 1.022	0.304 ; 0.537
<sup>141</sup> Ce	6	33.1 দিন	0.442 ; 0.581	0.145
<sup>143</sup> Pr	6	13.8 দিন	0.932	—
<sup>144</sup> Ce	5.3	282 দিন	0.170 ; 0.300	0.033 ; 0.054
<sup>147</sup> Nd	2.6	11.3 দিন	0.38 ; 0.60	0.309 ; 0.520
<sup>147</sup> Pm	2.6	2.6 বছর	0.223	—

ইউরেনিয়াম-235 এর বিখণ্ডনজাত মৌলগুলির মধ্যে শতকরা 97.3 ভাগ লঘু বর্গের (light group) এবং শতকরা 97.1 ভাগ গুরু বর্গের (heavy group) মৌল সনাক্ত করা হইয়াছে। প্রকৃতপক্ষে প্রায় দুই শতাধিক উপজাত মৌল (fission product) প্রায় পঞ্চাশটি বিখণ্ডন শৃংখল (fission chain) হইতে উদ্ভূত হওয়ার তথ্য পাওয়া গিয়াছে। এই জটিলতম সংমিশ্রণ হইতে প্লুটোনিয়াম শোধন করা অত্যন্ত দুরূহ কার্য। কিন্তু এই অসাধ্যসাধন করিলেন সীবর্গ ও তাঁহার সহকর্মীরা বিসমাখ ফস্ফেট সহায়ঃক্ষেপণ, দ্রাবক নিষ্কাশন (solvent extraction), আয়ন বিনিময় (ion exchange) ইত্যাদি প্রযুক্তি দ্বারা। পৃথকীকরণের নীতিগুলি নিচে আলোচিত হইল। স্মরণ রাখা দরকার, আলোচ্য সংমিশ্রণে আছে ইউরেনিয়াম, নেপ্চুনিয়াম, প্লুটোনিয়াম এবং পারমাণবিক বিখণ্ডনজাত মৌলগুলি।

(ক) জারণস্তরের স্থায়িত্ব (Stability of Oxidation States)—ইউরেনিয়াম ও ইউরেনিয়ামোসের আয়নগুলির জারণস্তরের স্থায়িত্বের ক্রম এইরূপ :



উপরোক্ত ক্রমগুলি হইতে সহজেই বোঝা যায়, উপযুক্ত জারক বা বিজারক দ্রব্যের সাহায্যে এই মৌলগুলি পৃথক করা সম্ভব এবং তারপর অধঃক্ষেপ কিংবা দ্রাবক নিষ্কাশন পদ্ধতি প্রয়োগ করা যায়। প্লুটোনিয়ামকে সহজেই সোডিয়াম বিসমথথিট (sodium bismuthate), পটাশ পারম্যাঙ্গানেট (potassium permanganate) বা ডাইক্রোমেট (dichromate) দ্বারা জারিত করা যায় (জারণস্তর IV→VI)। আবার প্লুটোনিয়াম (VI)-কে আয়রন (II) অথবা নাইট্রাইট আয়ন (nitrite) সহযোগে বিজারিত করা যায় (VI→IV)।

(খ) জৈব জীবকে নিষ্কাশন যোগ্যতা (Extractability in organic solvents)—আলোচ্য মৌলগুলির জলীয় নাইট্রেট দ্রবণে  $\text{MO}_2^{2+}$  আয়নগুলি জৈব দ্রাবকে নিষ্কাশনযোগ্য। চতুর্থ জারণস্তরের আয়নগুলি,  $\text{M}^{4+}$  নাইট্রিক অ্যাসিড দ্রবণ (6M) হইতে ট্রাইবুটাইল ফস্ফেট (Tributyl phos-

phate)—কেরোসিন দ্রবণে নিষ্কাশিত হয়। এইভাবে গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিড (10–16 Molar) হইতে  $M^{3+}$  আয়নগুলি জৈব দ্রাবকে নিষ্কাশনযোগ্য।

(গ) সহাধঃক্ষেপণ বিক্রিয়া— $M^{3+}$  ও  $M^{4+}$  আয়নগুলি অ্যাসিড দ্রবণ হইতে ফ্লুরোরাইড কিংবা ফস্ফেট হিসাবে সহাধঃক্ষিপ্ত হয়। উচ্চতর জারণ-স্তরের আয়ন  $MO_2^{3+}$  এই অবস্থার অধঃক্ষিপ্ত হয় না—ইহাদের অধঃক্ষেপ সালফেট যৌগ আয়নের আকারে নিবৃত্ত করা যায়।

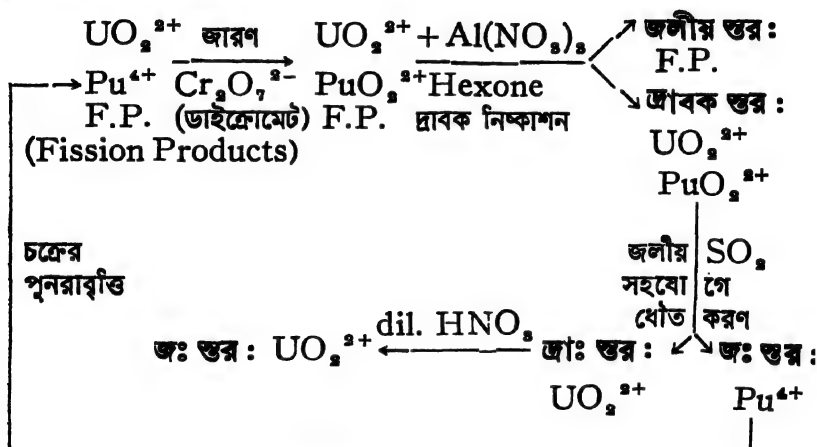
সহাধঃক্ষেপণ বিক্রিয়া দ্বারা সর্বপ্রথম প্লুটোনিয়াম উৎপাদন সম্পন্ন হইয়াছিল। বিসমাথ ফস্ফেট (bismuth phosphate) এই ঐতিহাসিক গুরুত্বপূর্ণ সহাধঃক্ষেপক (coprecipitant)। ইহা প্লুটোনিয়াম (IV) কে (জারণস্তর IV) মাত্রিকভাবে (quantitatively) অধঃক্ষিপ্ত হইবার সহায়তা করে। এই সহাধঃক্ষেপণ অনতিগাঢ় নাইট্রিক বা সালফিউরিক অ্যাসিড মাধ্যমে সম্ভব। এই অবস্থায় ইউরেনিয়াম ফস্ফেট অধঃক্ষিপ্ত হয় না। অতএব ইউরেনিয়াম-প্লুটোনিয়াম পৃথকীকরণ সম্ভবপর। পারমাণবিক বিখণ্ডনের উপজাত মৌলগুলির অতি সামান্য অংশ বিসমাথ ফস্ফেট অধঃক্ষেপের সহিত বাহিত হয়। অতএব এই জটিল সংমিশ্রণ হইতে প্লুটোনিয়াম শোধনের জন্য প্রয়োজন বিসমাথ ফস্ফেট সহাধঃক্ষেপণ এবং জারণ-বিজারণ চক্রের পুনরাবৃত্তি। এই চক্রের শেষ পর্যায়ে বিসমাথ ফস্ফেটের পরিবর্তে ল্যান্থানাম ফ্লুরোরাইড বাহক প্রয়োগ করা হয়।

(ঘ) আয়ন বিনিময় প্রক্রিয়া (Ion Exchange Technique)—ইউরেনিয়ামোক্তর মৌলশ্রেণীর (বিশেষতঃ ভারী মৌলগুলির) আবিষ্কারে আয়ন বিনিময় প্রযুক্তির এক বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা ছিল। ইহার সমধিক গুরুত্বের জন্য পৃথকভাবে এই পরিচ্ছেদে আলোচনা করা হইবে।

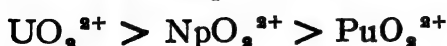
পরমাণু-চুল্লীর ব্যবহৃত ইউরেনিয়াম জ্বালানী দণ্ড (fuel rod) হইতে প্লুটোনিয়াম উৎপাদন করা হয়। অ্যালুমিনিয়ামের আবরণীসহ জ্বালানী দণ্ড নাইট্রিক অ্যাসিডে দ্রবীভূত করা হয়। দ্রাবক নিষ্কাশন, সহাধঃক্ষেপণ, জারণ-বিজারণ চক্রের সাহায্যে বিখণ্ডন উপজাত মৌলগুলির অধিকাংশই দূরীকরণ হয়। প্রারম্ভিক নাইট্রিক অ্যাসিড দ্রবণে প্লুটোনিয়ামের জারণ হয় না, অতএব IV জারণস্তর বিরাজ করে।

উপরোক্ত নীতির ভিত্তিতে কয়েকটি পৃথকীকরণ পদ্ধতির সংক্ষিপ্ত বিবরণ দেওয়া হইল। প্রবাহ-চিত্র (Flow sheet) সহযোগে এইগুলি বিবৃত হইল।

(১) হেক্সোন পদ্ধতি (Hexone or Methyl isobutyl ketone method)—হেক্সোন (বা মিথাইল আইসোবুটাইল কিটোন) দ্রাবকে ইউরেনিয়াম (VI) ও প্লুটোনিয়াম (VI) নিষ্কাশিত হয়, সুতরাং বিশ্বজনজাত মৌল সংমিশ্রণ পৃথক্ হইয়া যায়। এইবার জৈব দ্রাবক স্তরকে সালফার ডাই-অক্সাইড জলীয় দ্রবণ দ্বারা ধৌত করিলে প্লুটোনিয়াম VI হইতে IV স্তরে বিজারিত হয় এবং জলীয় স্তরে চলিয়া আসে বাহার ফলে ইউরেনিয়াম হইতে পৃথক্ হইয়া যায়। এখন প্লুটোনিয়াম IV কে প্রারম্ভিক পর্যায়ে মিশ্রিত করিলে চক্রের পুনরাবৃত্তি ঘটে এবং বিশুদ্ধ প্লুটোনিয়াম উৎপন্ন হয়।



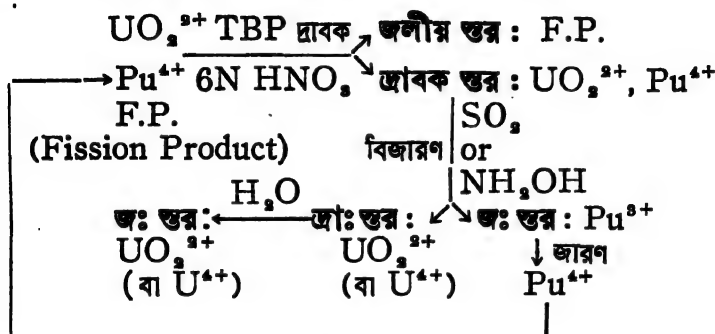
(২) ট্রাইবুটাইল ফসফেট পদ্ধতি (Tributyl phosphate or TBP Method)—এই ক্ষেত্রে ট্রাইবুটাইল ফসফেট দ্রাবক কেরোসিন দ্রবণে ব্যবহৃত হয়। অ্যাসিডের গাড়স্কে উপর মৌলের নিষ্কাশন নির্ভর করে। 6 N নাইট্রিক অ্যাসিড দ্রবণে নিষ্কাশন ক্রম এইরূপ :



6 N অ্যাসিড-মাধ্যম হইতে  $\text{M}^{2+}$  আয়নগুলির নিষ্কাশন যোগ্যতা অত্যন্ত অল্প কিন্তু 12 N হাইড্রোক্লোরিক অথবা 16 N নাইট্রিক অ্যাসিড মাধ্যম হইতে ইহাদের নিষ্কাশন বাধিত হয় এবং এই নিষ্কাশন ক্রম এইরূপ :



ইউরেনিয়াম-প্লুটোনিয়াম পৃথকীকরণের জন্য প্রথমে দ্রবণে প্লুটোনিয়ামকে চতুর্থ জারণস্তরে (IV) পরিণত করার জন্য বিজারক বিকারক হিসাবে নাইট্রাইট আয়ন যোগ করা হয়। প্লুটোনিয়াম IV এর চেয়ে প্লুটোনিয়াম VI এর নিষ্কাশনযোগ্যতা কম। পূর্বোক্ত পদ্ধতির মতো দ্রাবক স্তর হইতে প্লুটোনিয়ামকে বিজারক বিক্রিয়ার দ্বারা জলীয় স্তরে আনা হয়।



(৩) বিসমাথ ফস্ফেট—ল্যান্থানাম ফ্লুরোরাইড চক্র (Bismuth phosphate—Lanthanum fluoride cycle)—ইউরেনিয়াম-প্লুটোনিয়ামের প্রারম্ভিক দ্রবণে নাইট্রাইট দ্বারা প্লুটোনিয়ামকে বিজারিত করা হয়। প্রথম পর্যায়ে হেক্সোন দ্বারা নিষ্কাশন করিয়া ইউরেনিয়ামকে পৃথক করা হয়; জলীয় স্তর হইতে প্লুটোনিয়ামকে (IV) বিসমাথ ফস্ফেট সহযোগে সহায়কক্ষিপ্ত করা হয়। দ্বিতীয় পর্যায়ে এই সহায়কক্ষেপকে কয়েকবার দ্রবীভূত ও পুনরায় অধঃক্ষিপ্ত করিয়া শোধন করা হয়। অধঃক্ষেপকে দ্রবীভূত করার জন্য নাইট্রিক অ্যাসিড ব্যবহার করা দরকার; জারক হিসাবে সোডিয়াম বিসমথোটে এবং বিজারক হিসাবে আয়রন (II) প্রযুক্ত হয়। তৃতীয় পর্যায়ে বিসমাথ ফস্ফেটের বিকল্প হিসাবে ল্যান্থানাম ফ্লুরোরাইড ব্যবহার করা হয়। এই সময়ে প্লুটোনিয়ামকে তৃতীয় জারণস্তরে (III) পরিণত করা হয়, উপযুক্ত বিজারকের ( $\text{Fe}^{2+}$  ইত্যাদি) সাহায্যে। ল্যান্থানাম ফ্লুরোরাইড সহায়কক্ষেপকে দ্রবীভূত করার জন্য সোডিয়াম হাইড্রোক্সাইডের সাহিত স্ফুটন এবং নাইট্রিক অ্যাসিডে উত্তপ্ত করিতে হয়। শেষ পর্যায়ে এই সহায়কক্ষেপণ কয়েকবার করা হয় এবং ল্যান্থানাম ফ্লুরোরাইড চক্রের পুনরাবৃত্তি করা হয়।

প্লুটোনিয়ামের উৎপাদন শিল্প এই পদ্ধতির উপর প্রাতিষ্ঠিত।

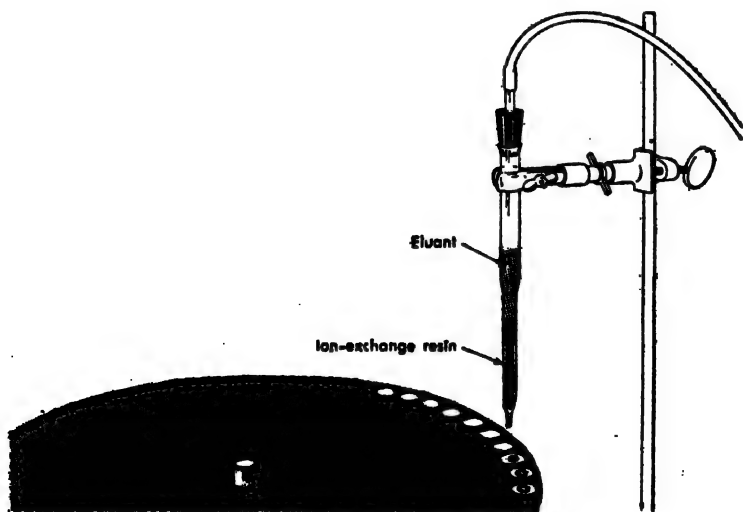




### ৭.৪ আয়ন-বিনিময় প্রযুক্তি (Ion Exchange Technique)

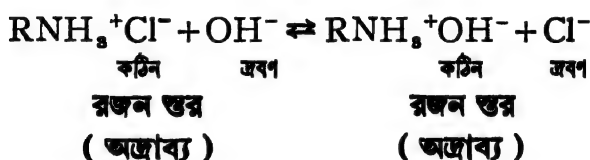
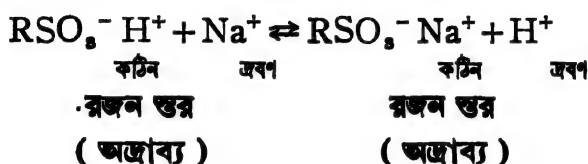
ইউরেনিয়ামোস্টর মৌলশ্রেণীর আবিষ্কারের মূল ভিত্তি ইহার মৌলগুলির সহিত বিরলমৃত্তিক মৌলশ্রেণীর (Rare earths : Lanthanide series) রাসায়নিক সাদৃশ্য। প্রথমোক্ত শ্রেণী মূলতঃ আক্টিনাইড শ্রেণী (ক্রমাঙ্ক ৯০—১০৩) যাহা বিরলমৃত্তিক মৌলশ্রেণীর (ক্রমাঙ্ক ৫৮—৭১) অনুরূপ। উভয় শ্রেণীর মধ্যে পৃথকীকরণ অত্যন্ত দুষ্কর। আয়ন বিনিময় প্রক্রিয়া ইতিমধ্যে শেবোস্ট শ্রেণীর মৌলগুলির পৃথকীকরণে অভূতপূর্ব সাফল্য লাভ করিয়াছিল। তাই ইউরেনিয়ামোস্টর মৌলগুলির একটির পর একটির আবিষ্কারের সঙ্গে সঙ্গে আলোচ্য প্রযুক্তি নিয়োগ করা হইল। মাত্র কয়েকটি পরমাণু যেখানে সম্বল, সেইখানে এই প্রযুক্তির কার্যকারিতা অত্যধিক। বিশেষতঃ কুরিয়ামোস্টর মৌলগুলির (ক্রমাঙ্ক ৯৭—১০৩) আবিষ্কার এই প্রযুক্তির সাহায্যেই সম্ভবপর হইয়াছিল। আয়ন-বিনিময় রজন স্তম্ভ (Ion exchange resin column) হইতে এই মৌলগুলির নির্গমনের ক্রম এবং চিত্রলেখ (curve) অবস্থান সঠিকভাবে ভবিষ্যদ্বাণী করা হইয়াছিল।

আয়ন-বিনিময় রজন (Ion exchange resin) এক বিশেষ জৈব বহুবোঁগ (polymer) পদার্থ (আণবিক গুরুত্ব ৪০০—৬০০) যাহার



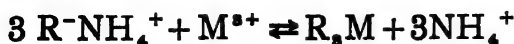
চিত্র ৭.২ : আয়ন-বিনিময় যন্ত্র

শৃংখল (chain) বা বলয়ের (ring) বিভিন্ন অংশে ধনাত্মক (cation) (যথা, সালফোনিক অ্যাসিড,  $-SO_3H$ ) বা ঋণাত্মক (anion) (যথা, অ্যামিন ক্লোরাইড,  $-NH_3^+Cl^-$ ) আয়ন থাকে। ইহাদের যথাক্রমে ধনাত্মক আয়ন-বিনিময়-কারক ও ঋণাত্মক আয়ন-বিনিময়-কারক রজন (Cation and anion exchange resins) অভিহিত করা হয়। প্রথমোক্ত রজনের সঙ্গে জলীয় দ্রবণে ধনাত্মক আয়নের বিনিময় হয় এবং শেষোক্ত রজনের সঙ্গে ঋণাত্মক আয়নের বিনিময় ঘটে। এই বিনিময়-বিক্রিয়ার (exchange reaction) ফলে রজনের মূল গঠন ( $RSO_3^-$ ,  $RNH_3^+$  ইত্যাদি) অব্যাহত থাকে, কেবল ইহার সংলগ্ন আয়নের ( $H^+Cl^-$  ইত্যাদি) পরিবর্তন হয়।



উপরোক্ত বিনিময়-বিক্রিয়ার রজনের মূল গঠন অক্ষুণ্ণ থাকে কেবলমাত্র জলীয় দ্রবণের আয়নের (যেমন  $Na^+$  অথবা  $OH^-$ ) সহিত রজনের বিনিময়-যোগ্য আয়নের (যেমন  $H^+$  অথবা  $Cl^-$ ) বিনিময়ের ফলে রজন স্তর হইতে  $H^+$  অথবা  $Cl^-$  জলীয় দ্রবণে স্থানান্তরিত হয় এবং জলীয় দ্রবণের  $Na^+$  অথবা  $OH^-$  রজন স্তরে স্থান গ্রহণ করে। বিনিময়-বিক্রিয়াতে রজন স্তরের নূতন আয়নকে উপযুক্ত তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পদার্থ (electrolyte) অথবা বোঁগ আয়ন উৎপাদনকারী বিকারক (complexing agent) দ্বারা অপসারণ করা যায়। বিরলমাত্রিক মৌল আয়নের ( $3+$ ) মতো ইউরেনিয়ামোস্টের মৌল আয়নের ( $3+ : তৃতীয় জারণস্তর$ ) সহিত আয়ন-বিনিময় রজনের (ধনাত্মক) আয়ন-বিনিময় ঘটে যখন রজনের কণার সহিত উক্ত মৌল আয়নের দ্রবণ মিশ্রিত করা হয়। পরে উক্ত রজন-দ্রবণের সংমিশ্রণ উপযুক্ত রজনপূর্ণ কাচের স্তম্ভে (resin column) ঢালিয়া দেওয়া হয়। অবশেষে উপযুক্ত বিকারকের

(complexing agent) প্রবাহের দ্বারা উক্ত মৌলগুলি একের পর এক নির্দিষ্ট ক্রমে নির্গত হয়।



রজন তর      অবণ                      রজন তর      অবণ



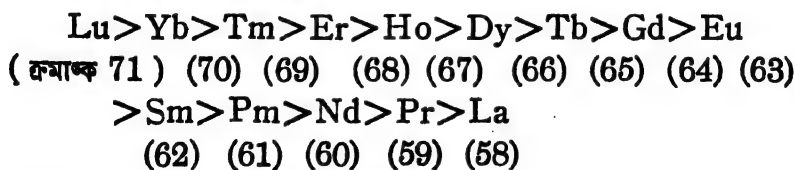
অবণ      বিকারক                      অবণ

বৌগ আয়ন

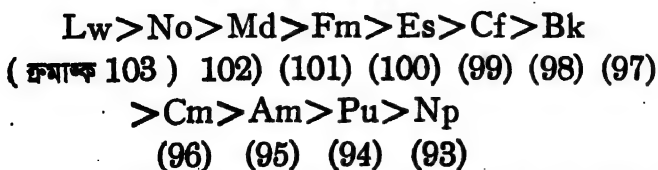
এখানে  $M^{3+}$  = বিরল-মুণ্ডিক আয়ন বা ইউরেনিয়ামোক্তর মৌল আয়ন ;  $R^{-}NH_4^{+}$  = অ্যামোনিয়াম ধনাত্মক আয়ন সম্বলিত ধনাত্মক রজন, যেমন, ডাওরেক্স-50 (Dowex-50) ;  $A^{-}$  = বৌগ আয়ন উৎপাদনকারী বিকারক, যেমন, ক্লোরাইড, নাইট্রেট, সাইট্রেট (citrate), ল্যাক্টেট (lactate), আলফা হাইড্রোক্সি আইসোবিউটিরেট ( $\alpha$ -hydroxy isobutyrate), এথিলিন ডাইএমিন টেট্রাঅ্যাসিটেট (ethylene diamine tetra-acetate)।

উপরোক্ত বিকারক দ্রবণ অধিকাংশ ক্ষেত্রে নির্দিষ্ট  $pH(= -\log [H^{+}])$ -এ নিরাসিত করা হয়। উপযুক্ত বিকারক দ্রবণপ্রবাহের (elution) ফলে মৌলশ্রেণী দুইটির নির্গমনের ক্রম দেখানো হইল—ইহা সোদক আয়নের ব্যাসার্ধের (hydrated ionic radius) ক্রমের অনুরূপ।

**বিরলমুণ্ডিক মৌলশ্রেণী :**



**ইউরেনিয়ামোক্তর মৌলশ্রেণী :**

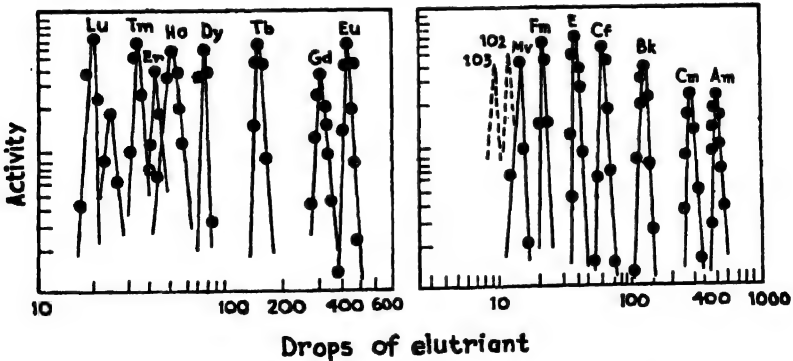


বৌগ আয়ন গঠন—এই পৃথকীকরণ প্রক্রিয়ার এক গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা গ্রহণ করে। বিভিন্ন মৌলের বৌগ আয়নের স্থায়িত্বের মাত্রা (অস্থায়িত্ব ধ্রুবক,

Instability constant) বিভিন্ন স্থায়ীস্থের এই বিভিন্নতাই পৃথকীকরণের মূল ভিত্তি। বিরলমৃত্তিক মৌলশ্রেণীর সর্বাপেক্ষা ভারী মৌল লুটেন্সিয়াম (ক্রমাঙ্ক 71) প্রথমে নির্গত হয়। অনুরূপভাবে সর্বাপেক্ষা ভারী ইউরেনিয়ামোস্তর মৌল, 103 ক্রমাঙ্কের মৌল প্রথমে নির্গত হইবে, ইহা পূর্বাভাসেই ভবিষ্যদ্বাণী করা হইয়াছিল। এমন কি, আবিষ্কারের পূর্বেই মৌল 97—103 এর অবস্থান আয়ন-বিনিময় চিত্রলেখ (Ion exchange curve) তত্ত্বগতভাবে নির্দিষ্ট হইয়াছিল এবং এই ভবিষ্যদ্বাণী ব্যবহারিক পরীক্ষায় সমর্থিত হইয়াছিল।

পরমাণু বিকলনের উপজাত দ্রব্য (Fission Product) হিসাবে বিরলমৃত্তিক মৌলগুলি থাকে—এইগুলি স্বভাবতঃই ইউরেনিয়ামোস্তর মৌলগুলির উৎপাদনের সময় বর্তমান থাকে। কাজেই এই অপজাত দ্রব্যের (বিরলমৃত্তিক মৌল) অপসারণ এবং ইউরেনিয়ামোস্তর মৌলগুলির পৃথকীকরণ এই দুইটি সমস্যা বার্কলের বিজ্ঞানীগোষ্ঠীকে জর্জরিত করিয়াছিল। ইহার সমাধান হইয়াছিল আয়ন-বিনিময় প্রযুক্তির সুনিপুণ প্রয়োগের দ্বারা।

গাড় হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের সহিত বিক্রিয়াম ইউরেনিয়ামোস্তর মৌলগুলি সহজেই ঋণাত্মক বা অপরাধর্মী ক্লোরোযোগ আয়ন (chloro-complexes)



চিত্র 7.3 : ল্যান্থানাইড (III) আয়ন ( বামদিকের চিত্র ) এবং অ্যাক্টিনাইড (III) আয়নের ( ডানদিকের চিত্র ) ডায়েক্সেস—50 পরাধর্মী রজন হইতে নিঃসরণ। অ্যামোনিয়াম—আলফা-হাইড্রোক্সি-আইসোবিউটিরেট-এর বাষ্প দ্রবণ দ্বারা পৃথকীকরণ সাধিত হইয়াছিল। মৌল 102 ও 103 এর অবস্থান তত্ত্বগতভাবে চিত্রলেখে নির্দিষ্ট হইয়াছিল।

সৃষ্টি করে বিরলমুখিক মৌলদের ভুলনার। অতএব ধনাত্মক আয়ন-বিনিময় রজন হইতে প্রথমোক্ত আয়নগুলি গাঢ় হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের প্রবাহের দ্বারা বর্গ হিসাবে (group) নিঃসৃত হয়। উৎকৃষ্টতর পদ্ধতি হইল ধনাত্মক আয়ন-বিনিময় রজন হইতে 10M লিথিয়াম ক্লোরাইড প্রবাহ (95° সেন্টিগ্রেড তাপে) দ্বারা উক্ত আয়নগুলির নিষ্কৃতি। তারপর এই আয়নগুলির পারস্পরিক পৃথকীকরণ সাধিত হয় সাইট্রেট বা অ্যামোনিয়াম-আলফা হাইড্রোক্সিআইসোবিউটিরেট দ্বারা ধনাত্মক রজন শুভ হইতে (cation exchange resin column)। চিত্র 7.3-তে ল্যান্থানাইড (3+) আয়ন ও অ্যাক্টিনাইড (3+) আয়নদের Dowex 50 রজন শুভ (ধনাত্মক) হইতে আলফা-হাইড্রোক্সিআইসোবিউটিরেট ( $\alpha$ -hydroxyisobutyrate) (নির্দিষ্ট pH মাত্রা) দ্বারা পৃথকীকরণের চিত্রলেখ দেখানো হইল। মৌল 102 ও 103 আবিষ্কারের পূর্বে চিত্রলেখে অবস্থান নির্দিষ্ট করা হইয়াছিল (ভগ্ন রেখা দ্বারা চিহ্নিত)। এই চিত্র হইতে উপরোক্ত দুই মৌলশ্রেণীর ঘনিষ্ঠ সাদৃশ্য প্রমাণিত হইয়াছে। আয়ন-বিনিময় শুভ হইতে পৃথকীকরণের পর অ্যাক্টিনাইড আয়নগুলিকে সাধারণতঃ কোনও অম্ল বা ক্লোরাইড অধঃক্ষেপে সংগৃহীত করা হয়।

## ৮। পর্যায়-সারণীতে স্থান ( Position in the Periodic Table )

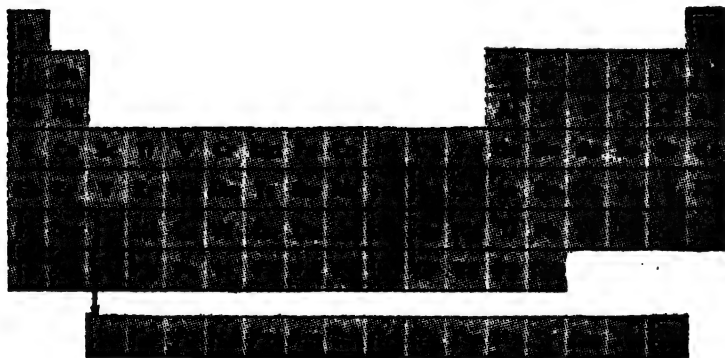
### ৮.১ ক্রমবিবর্তনের পটভূমিকা

ষোড়শ শতাব্দীতে অ্যালকেমিস্টগণ (alchemist) মাত্র নয়টি মৌলের পরিচয় জানিতেন—কার্বন (C), গন্ধক (S), লোহা (Fe), তামা (Cu), রূপা (Ag), টিন (Sn), সোনা (Au), পারদ (Hg) এবং সীসা (Pb)। তাঁহাদের মূল ধরনের যন্ত্রপাতি ছিল—বকযন্ত্র (retort), খলনুড়ি (mortar and pestle) ইত্যাদি। কিছু তাঁহাদের অবদান রসায়নের মূলভিত্তি রচনা করিয়াছিল। সপ্তদশ শতাব্দীর মধ্যভাগে তেরোটি মৌল আবিষ্কৃত হইয়াছিল। ঊনবিংশ শতাব্দীতে আরও ৬০টি মৌল সনাক্ত হইল। এই সময়ে প্রখ্যাত রুশ রাসায়নিক, মেন্ডেলিভ (Mendeleev) পর্যায়-সারণীর (Periodic Table) উদ্ভাবন করিয়া রসায়ন-জগতে এক অপূর্ব শৃংখলার ইতিহাস রচনা করিলেন। মৌলগুলির এক সৃষ্টি ও বিজ্ঞানসম্মত বিন্যাস সম্ভবপর হইল। উপরন্তু অনাবিষ্কৃত কোনও মৌলের সঠিক স্থান নির্ণয় ও ইহার ধর্মসমূহ ভবিষ্যদ্বাণী করাও সম্ভব হইল। বিংশ শতাব্দীর মধ্যভাগে বিজ্ঞানীদের নিকট অনেক উন্নত ধরনের যন্ত্রপাতি ছিল যাহাদের দ্বারা নূতন মৌল আবিষ্কারের দুরূহ কার্য সিদ্ধ হইয়াছিল। সাইক্লোট্রন, পরমাণুচুল্লী (Reactor), অ্যাক্সিলারেটর (Accelerator, বিশেষতঃ HILAC) ইত্যাদি অত্যাধুনিক যন্ত্রপাতি ছাড়া ইউরেনিয়ামোক্তর মৌলশ্রেণীর আবিষ্কার সম্ভবপর হইত না।

ষষ্ঠীয় মহাবৃক্ষের আগে পর্যন্ত ৪৪টি মৌলের পরিচয় জানা ছিল—শেষ মৌল ইউরেনিয়াম (ক্রমাঙ্ক ৯২)। এই ৯২টি মৌলের মধ্যে ৪টি শূন্যস্থান ছিল—ক্রমাঙ্ক ৪৩, ৬১, ৮৫ ও ৮৭ ইহাদের জন্য। ইহাদের বলা হইত “নিরুদ্দেশ মৌল” (Missing elements) কারণ কোনও আকারিকে ইহাদের সন্ধান পাওয়া যায় নাই (তৃতীয় পরিচ্ছেদ)। বক্তৃতঃ ইহারা তেজস্ক্রিয় এবং কৃত্রিম উপায়ে ইহাদের গবেষণাগারে প্রস্তুত করিতে হইয়াছিল। ১৯৩৭—১৯৪৫ সালের মধ্যে ইহারা আবিষ্কৃত হইয়াছিল। একই সময়ে ইউরেনিয়ামের পরবর্তী মৌলগুলির অনুসন্ধান চলিতেছিল।

বিংশ শতাব্দীর তৃতীয় দশকে বিরলমুদ্রিত মৌলগুলি (ক্রমাঙ্ক 57—71) রাসায়নিক ধর্ম ও ইলেকট্রন বিন্যাস অনুযায়ী একই সঙ্গে এক পৃথক শ্রেণীতে পর্যায়-সারণীর নিচে বিন্যস্ত হইল। ইহাদের স্থান নির্দিষ্ট হইল মৌল 56 (বেরিয়াম) ও 72 (হ্যাফ্‌নিয়াম) এর মধ্যস্থলে। কিন্তু ইউরেনিয়ামের পরবর্তী মৌলগুলি সম্বন্ধে অনেক অনিশ্চয়তা ছিল। দ্বিতীয় মহাযুদ্ধের আগে পর্যন্ত অনেকের ধারণা ছিল যে, থোরিয়াম (ক্রমাঙ্ক 90), প্রোটোঅ্যাক্টিনিয়াম (ক্রমাঙ্ক 91) ও ইউরেনিয়াম (ক্রমাঙ্ক 92) এর সাদৃশ্য ছিল হ্যাফ্‌নিয়াম (ক্রমাঙ্ক 72), ট্যাংটালাম (ক্রমাঙ্ক 73) ও টাংস্টেন (ক্রমাঙ্ক 74) এর সহিত। অতএব মৌল 75 (রেনিয়াম) এর সহিত মৌল 93 এর সাদৃশ্য থাকিতে পারে।

যখন 1940-41 সালে মৌল 93 ও 94 আবিষ্কৃত হইল তখন পর্যায়-সারণীতে তাহাদের স্থান সম্বন্ধে সংশয়ের অবকাশ ছিল। আগেকার ধারণা অনুযায়ী ইহাদের রেনিয়াম (ক্রমাঙ্ক 75) ও অস্মিয়াম (ক্রমাঙ্ক 76)-এর



চিত্র 8.1 : পর্যায়-সারণী (দ্বিতীয় মহাযুদ্ধের আগে)।

অনুরূপ হওয়া উচিত। কিন্তু কার্যতঃ দেখা গেল, ইউরেনিয়ামের সঙ্গে ইহাদের সাদৃশ্য আছে কিন্তু রেনিয়াম, অস্মিয়ামের সঙ্গে কোনও সাদৃশ্য নাই। আবার, মৌল 95 ও 96-এর পর্যায়-সারণীতে স্থান সম্বন্ধে বিতর্কের অবকাশ ছিল—ইহাদের প্র্যাটিনাম ধাতু ইরিডিয়াম ও প্র্যাটিনামের অনুরূপ হওয়ার সম্ভাবনা, কিন্তু এই ধারণা ভুল প্রমাণিত হইল।

1944 সালে সীবার্গ “অ্যাক্টিনাইড তত্ত্ব” (Actinide hypothesis) প্রকাশিত করিলেন। তাঁহার মতে এষাবৎ অ্যাক্টিনিয়াম ও তাহার পরবর্তী মৌলগুলির পর্যায়-সারণীতে সঠিক স্থান নির্দিষ্ট করা হয় নাই। তিনিই প্রথমে আলোকপাত করিলেন যে অ্যাক্টিনিয়ামের পরবর্তী মৌলগুলি বিরলমৃত্তিক মৌলের (Lanthanide series) অনুরূপ একটি স্বতন্ত্র মৌলশ্রেণী (Actinide), মৌল 90—103 এই নতুন মৌলগোষ্ঠীর অন্তর্ভুক্ত। এই তত্ত্ব প্রচলিত হইবার পর মৌল 95 ইত্যাদি আবিষ্কারের পথ অনেক সুগম হইয়াছিল।

পর্যায়-সারণীর বিবর্তনের ধারা (চিত্র 8.1, সারণী 8.1 ও চিত্র 8.2) প্রতিকলিত হইয়াছে। ইহারা যথাক্রমে দ্বিতীয় মহাযুদ্ধের আগে, 1944 সালে এবং বর্তমান পর্যায়-সারণী নির্দেশ করে।

সারণী 8.1. পর্যায়-সারণীতে অ্যাক্টিনাইড মৌলশ্রেণীর স্থান (1944 সালের ধারণা)। অনাবিষ্কৃত মৌলগুলি বন্ধনী সাহায্যে সূচিত হইল।

57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	(95)	(96)	(97)	(98)	(99)	(100)	(101)	(102)	(103)

পর্যায়-সারণীতে মৌলের সঠিক স্থান নির্দেশের মূল ভিত্তি হইল মৌলের ভৌত ও রাসায়নিক ধর্ম, ইলেকট্রন বিন্যাস, ইত্যাদি।

1 H 1.008																	3 Li 6.941	4 Be 9.012	5 B 10.81	6 C 12.01	7 N 14.01	8 O 16.00	9 F 18.99	10 Ne 20.18
11 Na 22.99	12 Mg 24.31																	13 Al 26.98	14 Si 28.09	15 P 30.97	16 S 32.06	17 Cl 35.45	18 Ar 39.95	
19 K 39.10	20 Ca 40.08	21 Sc 44.96	22 Ti 47.88	23 V 50.94	24 Cr 52.00	25 Mn 54.94	26 Fe 55.85	27 Co 58.93	28 Ni 58.69	29 Cu 63.55	30 Zn 65.38	31 Ga 69.72	32 Ge 72.64	33 As 74.92	34 Se 78.96	35 Br 79.90	36 Kr 83.80							
37 Rb 85.47	38 Sr 87.62	39 Y 88.91	40 Zr 91.22	41 Nb 92.91	42 Mo 95.94	43 Tc (98.91)	44 Ru 101.07	45 Rh 102.91	46 Pd 106.42	47 Ag 107.87	48 Cd 112.41	49 In 114.82	50 Sn 118.71	51 Sb 121.76	52 Te 127.60	53 I 126.91	54 Xe 131.29							
55 Cs 132.91	56 Ba 137.33	57 La 138.91	58 Ce 140.12	59 Pr 140.91	60 Nd 144.24	61 Pm (144.91)	62 Sm 150.36	63 Eu 151.96	64 Gd 157.25	65 Tb 158.93	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93	68 Er 167.26	69 Tm 168.93	70 Yb 173.05	71 Lu 174.97								
Lanthanide Series																								
Actinide Series																								

চিত্র 8.2 : বর্তমান পর্যায়-সারণী ( অনাবিষ্কৃত মৌলগুলির সম্ভাব্য স্থান প্রদর্শিত হইয়াছে )।



## ৮.২ ইলেকট্রন বিন্যাস

বিরলমৃত্তিক মৌলগুলি (Lanthanide series বা Rare earth series) এক বিশেষ সন্ধিগত মৌল গোষ্ঠীভুক্ত (Inner transition series) বাহাদের রাসায়নিক ধর্মে ও ইলেকট্রন বিন্যাসে ঘনিষ্ঠ সাদৃশ্য বিরাজমান। ইহাদের সাধারণ ইলেকট্রন বিন্যাসের সংকেত  $4f^{0-14} 5s^2 5p^6 5d^1 6s^2$  অর্থাৎ ইহাদের ইলেকট্রনের বহির্ভরের  $5s$ ,  $5p$  ও  $6s$  অন্তর (sub-shell) পূর্ণ থাকে কিন্তু অভ্যন্তরের  $5d$  ও  $4f$  অন্তর অপূর্ণ থাকে। এই  $4f$  অন্তর ক্রমশঃ পূর্ণ হয় সিরিয়াম (ক্রমাঙ্ক 58) হইতে লুটেরিয়াম (ক্রমাঙ্ক 71) পর্যন্ত।

অনুরূপভাবে, দ্বিতীয় বিরলমৃত্তিক শ্রেণীর অর্থাৎ অ্যাক্টিনাইড মৌল-শ্রেণীর (Actinide series) ইলেকট্রন বিন্যাসের সাধারণ সংকেত  $5f^{0-14} 6s^2 6p^6 6d^1 7s^2$  এবং ইহারা দ্বিতীয় অভ্যন্তরীণ সন্ধিগত মৌলগোষ্ঠীর অন্তর্ভুক্ত। এইক্ষেত্রে প্রথমদিকে  $6d$  অন্তরে ইলেকট্রন প্রবেশ করে; পরে  $6s$ ,  $6p$  ও  $7s$  পূর্ণ অন্তরগুলির উপস্থিতিতে  $5f$  অন্তরে ইলেকট্রন প্রবেশ করে।  $5f$  ও  $6d$  অন্তরের শক্তির মাত্রা প্রায় সমতুল্য। এইহেতু অ্যাক্টিনাইড মৌলশ্রেণীর প্রথমভাগে তৃতীয় জারণস্তরের উর্ধ্ব জারিত হওয়ার সম্ভাবনা যথেষ্ট। কিন্তু পরের দিকে  $5f$  অন্তরে অনুপ্রবেশের জন্য বহির্ভরের শক্তির কোন তারতম্য দেখা যায় না। কাজেই ইহাদের রাসায়নিক ধর্ম একরকম থাকে। নিম্নের সারণীতে অ্যাক্টিনাইড ও ল্যান্থানাইড গোষ্ঠীর মৌলগুলির বোধ্যভাস্তরের (Valence shell) ইলেকট্রন বিন্যাস দেওয়া হইল। বন্ধনীর মধ্যে প্রদত্ত ইলেকট্রন বিন্যাসগুলি ভবিষ্যদ্বাণী করা হইয়াছিল।

বায়বীয় পরমাণু (gaseous atom) বর্ণালী হইতে অ্যাক্টিনিয়াম, থোরিয়াম, ইউরেনিয়াম ও আমেরিকিয়াম পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাস নির্ণীত হইয়াছিল। পরমাণু রশ্মি (atomic beam) পরীক্ষা হইতে প্রোটো-অ্যাক্টিনিয়াম, নেপচুনিয়াম, প্লুটোনিয়াম এবং কুরিয়ামের ইলেকট্রন বিন্যাস নির্ধারিত হইয়াছিল।

অ্যাক্টিনাইড মৌলগুলির পারস্পরিক সাদৃশ্য যথেষ্ট, তা ছাড়া ইহাদের সাহিত ল্যান্থানাইড মৌলগুলির সাদৃশ্য বর্তমান। ইহাদের সাধারণ ধর্মগুলি উল্লেখযোগ্য। (1) জলীয় দ্রবণে পরাধর্মী আধান বিশিষ্ট আয়ন ( $3^+$ ) থাকে বাহা বোঁগ আয়ন ও জৈব বোঁগের সঙ্গে চিলেট (chelate) বোঁগ উৎপন্ন

সারণী 8.2: অ্যাক্টিনাইড ও ল্যান্থানাইড গোষ্ঠীর ইলেকট্রন বিভাজন (বাস্তবীয় পরমাণু)

পরমাণু ক্রমিক	মৌল	ইলেকট্রন $\neq$ বিভাজন	পরমাণু ক্রমিক	মৌল	ইলেকট্রন $\neq$ বিভাজন
89	Actinium	6d 7s <sup>2</sup>	57	Lanthanum	5d 6s <sup>2</sup>
90	Thorium	6d <sup>2</sup> 7s <sup>2</sup>	58	Cerium	4f 5d 6s <sup>2</sup>
91	Protoactinium	5f <sup>2</sup> 6d 7s <sup>2</sup>	59	Praseodymium	4f <sup>3</sup> 6s <sup>2</sup>
92	Uranium	5f <sup>3</sup> 6d 7s <sup>2</sup>	60	Neodymium	4f <sup>4</sup> 6s <sup>2</sup>
93	Neptunium	5f <sup>4</sup> 6d 7s <sup>2</sup>	61	Promethium	4f <sup>5</sup> 6s <sup>2</sup>
94	Plutonium	5f <sup>5</sup> 7s <sup>2</sup>	62	Samarium	4f <sup>6</sup> 6s <sup>2</sup>
95	Americium	5f <sup>7</sup> 7s <sup>2</sup>	63	Europium	4f <sup>7</sup> 6s <sup>2</sup>
96	Curium	5f <sup>7</sup> 6d 7s <sup>2</sup>	64	Gadolinium	4f <sup>7</sup> 5d 6s <sup>2</sup>
97	Berkelium	5f <sup>8</sup> 6d 7s <sup>2</sup> (5f <sup>7</sup> 7s <sup>2</sup> )	65	Terbium	4f <sup>9</sup> 6s <sup>2</sup>
98	Californium	(5f <sup>10</sup> 7s <sup>2</sup> )	66	Dysprosium	4f <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup>
99	Einsteinium	(5f <sup>11</sup> 7s <sup>2</sup> )	67	Holmium	4f <sup>11</sup> 6s <sup>2</sup>
100	Fermium	(5f <sup>12</sup> 7s <sup>2</sup> )	68	Erbium	4f <sup>12</sup> 6s <sup>2</sup>
101	Mendelevium	(5f <sup>13</sup> 7s <sup>2</sup> )	69	Thulium	4f <sup>13</sup> 6s <sup>2</sup>
102	Nobelium	(5f <sup>14</sup> 7s <sup>2</sup> )	70	Ytterbium	4f <sup>14</sup> 6s <sup>2</sup>
103	Lawrencium	(5f <sup>14</sup> 6d 7s <sup>2</sup> )	71	Lutetium	4f <sup>14</sup> 5d 6s <sup>2</sup>

$\neq$  বহির্ভোজ্যতা ভরের ইলেকট্রন (Outer valence shell electron)

করে। (2) সালফেট, নাইট্রেট, হ্যালাইড ও সালফাইড যৌগগুলি জলে দ্রবণীয় এবং ফ্লুরোহাইড ও অক্সালেট যৌগ অদ্রবণীয়। (3) অ্যাক্টিনাইড মৌলগুলির প্রথম কয়েকটি মৌল সহজে ইলেকট্রন ত্যাগ করে এবং উচ্চতর জারণস্তরে উন্নীত হইয়া থাকে, কারণ ইহাদের আভ্যন্তরীণ 5f অন্তরের ইলেকট্রন শিথিলভাবে সংলগ্ন থাকে, তাছাড়া 7s, 6d ও 5f অন্তরের শক্তি প্রায় সমান। থোরিয়াম (IV), প্রোটোঅ্যাক্টিনিয়াম (V), ইউরেনিয়াম (VI), নেপচুনিয়াম (V), প্লুটোনিয়াম (IV), ইত্যাদি জারণস্তরগুলি

সুপরিচিত। ভারী মৌলগুলির (ক্রমাঙ্ক 96—103) সহিত ল্যান্থানাইড গোষ্ঠীর মৌলগুলির সাদৃশ্য ঘনিষ্ঠতর।

মৌল 97, কুরিয়ামের ( $5f^7$ ) ইলেকট্রন বিন্যাসের স্থায়িত্ব সর্বাধিক উল্লেখযোগ্য। ইহার সহিত গ্যাডোলিনিয়াম ( $4f^7$ ) তুলনীয়। কুরিয়াম  $-3^+$  এবং গ্যাডোলিনিয়াম  $-3^+$  বিশেষভাবে স্থায়ী। কারণ নিম্নমানবায়ী অর্ধপূর্ণ ( $4f^7$ ,  $5f^7$ ) এবং সম্পূর্ণ ( $4f^{14}$ ,  $5f^{14}$ ) ইলেকট্রন অনুষ্ঠরের স্থায়িত্ব অন্যান্য অনুষ্ঠর অপেক্ষা বেশী। এই স্থায়িত্বশীল ইলেকট্রন-বিন্যাস লাভের জন্য প্রতিবেশী মৌলগুলির প্রবণতা সমধিক। মৌল 97, বার্কেলিয়াম আতিরিক্ত ইলেকট্রন বর্জন করিয়া  $5f^7$  বিন্যাস লাভ করে এবং উক্ত প্রক্রিয়ার IV জারণস্তরে উন্নীত হয়। অনুরূপভাবে  $f^{14}$  ইলেকট্রন বিন্যাস বিশিষ্ট মৌলগুলি স্থায়ী—তাই আগের মৌলের (102-নোবেলিয়াম; 70-ইটারবিয়াম) II জারণস্তর লক্ষণীয়; ইহাদেরও  $f^{14}$  ইলেকট্রন অনুষ্ঠর বর্তমান।

অ্যাক্টিনাইড মৌলগোষ্ঠীর পরবর্তী মৌলগুলির প্রথমে 6d অনুষ্ঠর এবং পরে 7p অনুষ্ঠর পূর্ণ হইবে। শেষ মৌলটি হইবে একটি নিষ্ক্রিয় গ্যাস (ক্রমাঙ্ক 118)। কিন্তু এই মৌলগুলির অর্ধায়ুকাল এতই ক্ষণস্থায়ী হইবে যে, ইহাদের আবিষ্কার করা অত্যন্ত দুর্লভ (চিত্র 8.2)। ইহাদের যোজ্যতা স্তরের ইলেকট্রন বিন্যাস দেখানো হইল।

সারণী 8.3 : মৌল 104—118 এর ইলেকট্রন বিজ্ঞান (যোজ্যতা স্তর)

মৌল	ইলেকট্রন বিন্যাস
104	$5f^{14} 6d^3 7s^2$
105	$5f^{14} 6d^3 7s^2$
106	$5f^{14} 6d^4 7s^2$
⋮	⋮
112	$5f^{14} 6d^{10} 7s^2$
113	$5f^{14} 6d^{10} 7s^2 7p^1$
114	$5f^{14} 6d^{10} 7s^2 7p^2$
⋮	⋮
118	$5f^{14} 6d^{10} 7s^2 7p^6$

## ৮.৩ ভৌত ও রাসায়নিক ধর্ম

ল্যান্থানাইড ও অ্যাক্টিনাইড এই দুই মৌলগোষ্ঠীর মূলগত রাসায়নিক সাদৃশ্যকে কেন্দ্র করিয়া উহাদের ইলেকট্রন বিন্যাস ও পৰ্বান-সারণীতে স্থান সম্বন্ধিত হইয়াছে। ইহার ফলশ্রুতি আয়ন-বিনিময় প্রক্রিয়া দ্বারা অ্যাক্টিনাইড মৌলগোষ্ঠীর পৃথকীকরণ ও সনাক্তকরণ এবং ভারী মৌলগুলির আবিষ্কার। নিম্নে কয়েকটি প্রয়োজনীয় ভৌত ও রাসায়নিক ধর্মের আলোচনা করা হইল।

(ক) ধাতব অবস্থা এবং আয়নীয় ব্যাসার্ধ—ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলগুলির পরাধর্মিতা (electropositivity) অত্যধিক। গলিত লবণের (molten salt) তড়িৎবিদ্যেষ্ণ বা হ্যালাইড লবণের ক্যালসিয়াম অথবা বেরিয়াম দ্বারা বিজারণ প্রক্রিয়ায় মৌলগুলি ধাতব অবস্থায় উৎপন্ন হয়। নেপ্‌চুনিয়াম ও প্লুটোনিয়ামের কেলাস গঠন বেশ জটিল—ইহাদের সহিত ল্যান্থানাইড গোষ্ঠীর সাদৃশ্য নাই। কেবল আমেরিকিয়ামের কেলাস গঠনের সঙ্গে শেষোক্ত গোষ্ঠীর সাদৃশ্য বর্তমান। প্লুটোনিয়ামের খাতুনীক্ষাশন-জনিত ধর্ম অস্বাভাবিক। সাধারণ তাপমাত্রা হইতে গলনাঙ্ক পর্যন্ত ইহার ছয়টি রূপভেদ (allotrope) আছে।

কঠিন অবস্থার ত্রিষোজী (tripositive) অ্যাক্টিনাইড আয়নের আচরণ অনুরূপ। চতুষোজী অ্যাক্টিনাইড আয়নের (tetrapositive) সহিত সিরিয়াম IV আয়নের সাদৃশ্য আছে। ইহাদের অধঃক্ষেপণ বিক্রিয়া অনুরূপ। অ্যাসিড দ্রবণে ফ্লুরোহাইড ও অক্সালেট যৌগগুলি অদ্রবণীয় কিঙ্ক নাইট্রেট, সালফেট, পারক্লোরেট ও সালফাইড যৌগগুলির জলে দ্রাব্যতা আছে।

কেলাস গঠনের তথ্য হইতে অ্যাক্টিনাইড মৌলগুলির আয়নীয় ব্যাসার্ধ নির্ণীত হইয়াছে। “ল্যান্থানাইড সংকোচনের” (Lanthanide contraction) অনুরূপ আচরণ অ্যাক্টিনাইড গোষ্ঠীর মধ্যে দেখা যায়—ইহার নাম “অ্যাক্টিনাইড সংকোচন” (Actinide contraction)। পরমাণু-ক্রমাঙ্ক বৃদ্ধির সঙ্গে আয়নীয় ব্যাসার্ধের হ্রাস ঘটে। ইহার ব্যাখ্যা ইলেকট্রন বিন্যাস হইতে পাওয়া যায়। পরমাণু-ক্রমাঙ্ক বৃদ্ধির সঙ্গে কেন্দ্রকের আধান বৃদ্ধি পায়। অ্যাক্টিনাইড মৌলের পরমাণুতে আভ্যন্তরীণ 5f অনুস্তরে ইলেকট্রন সংখ্যা বৃদ্ধি হয় অথচ বহির্ষোজ্যতাশ্র (outer valence shell) অক্ষুণ্ণ থাকে। ফলে শেষোক্ত অনুস্তরের সংকোচন ঘটে এবং পারমাণবিক আয়তন ও ব্যাসার্ধের সংকোচন পরিদৃশ্যিত হয়। এই ঘটনা সাধারণ বা

আদর্শ মৌলের (Normal or Representative elements) আচরণের বিপরীত (ফ্র্যাঙ্ক বৃদ্ধির সঙ্গে আয়নীয় ব্যাসার্ধের বৃদ্ধি)। নিম্নের সারণীতে অ্যাক্টিনাইড ও অনুরূপ ল্যান্থানাইড আয়নের ব্যাসার্ধ তুলনামূলকভাবে দেওয়া হইল।

**সারণী 8.4 : অ্যাক্টিনাইড ও ল্যান্থানাইড মৌলগোষ্ঠীর আয়নীয় ব্যাসার্ধ (A)**

অ্যাক্টিনাইড গোষ্ঠী				ল্যান্থানাইড মৌলগোষ্ঠী			
Ac <sup>3+</sup>	1.11	Th <sup>4+</sup>	0.99	La <sup>3+</sup>	1.061	Ce <sup>4+</sup>	0.92
U <sup>3+</sup>	1.03	Pu <sup>4+</sup>	0.96	Ce <sup>3+</sup>	1.034	Pr <sup>4+</sup>	0.90
Np <sup>3+</sup>	1.01	U <sup>4+</sup>	0.93	Pr <sup>3+</sup>	1.013		
Pu <sup>3+</sup>	1.00	Np <sup>4+</sup>	0.92	Nd <sup>3+</sup>	0.995		
Am <sup>3+</sup>	0.99	Pu <sup>4+</sup>	0.90	Sm <sup>3+</sup>	0.964		
Cm <sup>3+</sup>	0.98	Am <sup>4+</sup>	0.89	Eu <sup>3+</sup>	0.950		
				Gd <sup>3+</sup>	0.938		

(খ) **জারণস্তর (Oxidation states)**—অ্যাক্টিনাইড মৌলগোষ্ঠীর সাধারণ জারণস্তর 3+(III); থোরিয়াম ও প্রোটোঅ্যাক্টিনিয়াম ইহার ব্যতিক্রম। থোরিয়াম ও প্রোটোনিয়ামের IV জারণস্তর সর্বাপেক্ষা স্থায়ী। অন্যান্যদের স্থায়ী জারণস্তর এইরূপ—ইউরেনিয়াম, VI; নেপচুনিয়াম, V এবং আমেরিকিয়াম হইতে ফর্মিয়াম, III.

**সারণী 8.5 : অ্যাক্টিনাইড মৌলগোষ্ঠীর জারণস্তর**

মৌল	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm
পঃক্রমিক	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
জারণস্তর	3	(3) 4	— 4 5	3 4 5 6	3 4 5 6	3 4 5 6	3 4 5 6	3 4 5 6	3 4	3	3	3

রেখাঙ্কিত সংখ্যাগুলি সর্বাপেক্ষা স্থায়ী জারণস্তর নির্দেশ করে।

জলের অ্যাসিড দ্রবণে III হইতে VI জারণস্তরের যে আয়নগুলি পরিলক্ষিত হয়, তাহারা হইল  $M^{3+}$ ,  $M^{4+}$ ,  $MO_2^+$ ,  $MO_3^{2+}$ । বিভিন্ন আয়নের অবস্থার বর্ণ, ধর্ম, প্রকৃতি ইত্যাদি নিম্নের সারণীতে প্রদত্ত হইল।

সারণী 8.6 : জলীয় দ্রবণে প্রধান  
অ্যাক্টিনাইড আয়নগুলি \*

আয়ন	বর্ণ †	প্রস্তুত পদ্ধতি	হাসিত
$U^{3+}$	লাল-বাদামী	$UO_2^{2+} + Na (Zn)/Hg$	জলে ধীরে জারিত হয়, বাতাসে দ্রুত জারিত হয় ( $U^{4+}$ ).
$Np^{3+}$	বেগুনী আভা	$H_2(Pl)$ দ্বারা বিজারণ	জলে হারী; বাতাসে জারিত হয় ( $Np^{4+}$ ).
$Pu^{3+}$	বেগুনী-নীল	উচ্চতর জারণস্তর $SO_2$ , $NH_4OH$ দ্বারা বিজারণ	জলে ও বাতাসে হারী; সহজে জারণযোগ্য ( $Pu^{4+}$ ).
$Am^{3+}$	গোলাপী	$I^-$ , $SO_2$ দ্বারা বিজারণ	হারী; সহজে জারিত হয় না।
$U^{4+}$	সবুজ	$U^{3+} + air$ বা $O_2$	হারী; বাতাসে ধীরে জারিত হয় ( $UO_2^{2+}$ ).
$Np^{4+}$	হলুদ-সবুজ	$NpO_2^{2+} + (H_2SO_4) + SO_2$	হারী; বাতাসে ধীরে জারিত হয় ( $NpO_2^{2+}$ ).
$Pu^{4+}$	তামাটে	$PuO_2^{2+} + SO_2$ বা $NO_2^-$	6M অ্যাসিডে হারী; কম অ্যাসিডে বিয়োজন : $\rightarrow Pu^{3+} + PuO_2^{2+}$ .
$Am^{4+}$	গোলাপী-লাল	$Am(OH)_3(15M NH_4F)$	15M $NH_4F$ এ হারী; $I^-$ দ্বারা বিজারিত হয়।
$Cm^{4+}$	ঈষৎ হলুদে	$CmF_3(15M CsF)$	25° সে.. 1 ঘণ্টা হারী।
$NpO_2^{2+}$	সবুজ	$Np^{4+} +$ তত্ত্ব $HNO_3$	হারী; পাত্রে অ্যাসিডে বিয়োজন ঘটে।
$UO_2^{2+}$	হলুদে	$U^{4+} + HNO_3$ (জারণ)	অত্যন্ত হারী।
$NpO_2^{2+}$	গোলাপী	নিম্নতর জারণস্তরকে $Ce^{4+}$ , $MnO_4^-$ , $O_2$ ইত্যাদি দ্বারা জারণ	হারী; সহজে বিজারিত হয়।
$PuO_2^{2+}$	হলুদ-গোলাপী		
$AmO_2^{2+}$	বাদামী		

\*  $Ac^{3+}$ ,  $Th^{4+}$ ,  $Cm^{3+}$  এবং  $Pa$  আয়নগুলি বর্ণহীন।

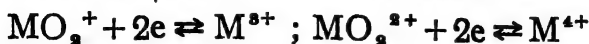
† আয়নের গাঢ় ও প্রকৃতির উপর নির্ভরশীল।



মৌলের IV—III এবং VI—V বিজারণ বিক্রিয়াগুলি উভমুখী (reversible) এবং দ্রুতগতি সম্পন্ন—



এই বিক্রিয়া এক ইলেকট্রনযুক্ত জারক বা বিজারক দ্বারা সহজেই সাধিত হয়। কিন্তু দুই ইলেকট্রন-বিশিষ্ট বিক্রিয়াগুলি উভমুখী হয় না

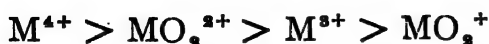


এবং ইহাদের বিক্রিয়ার হার কম কারণ এই বিক্রিয়ার সহিত ধাতু-অক্সিজেন-যোজক (M—O bond) দীর্ঘ করিবার প্রশ্ন সংশ্লিষ্ট। জারণ-বিজারণ বিক্রিয়াগুলির হারের ক্রম এইরূপ :



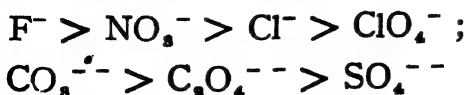
প্লুটোনিয়াম এবং ইহার পরবর্তী মৌলগুলির জলীয় দ্রবণে যৌগ আয়ন, আর্দ্রবিচ্ছেদ (hydrolysis), বহুযৌগ আয়ন (polymer) এবং স্বতঃবিয়োজন (disproportionation) ইত্যাদি প্রক্রিয়ার জন্য জারণ-বিজারণ বিক্রিয়ায় জটিলতা দেখা যায়। তাছাড়া তেজস্ক্রিয়তা বিকিরণের জন্য জলবিভাজন (radiolysis) হওয়াতে H, OH, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ইত্যাদি উপজাত দ্রব্য জলীয় দ্রবণে বর্তমান থাকে, বাহার ফলে উচ্চতর জারণশক্তির গুলি—যেমন, প্লুটোনিয়াম V, VI, আমেরিকিয়াম IV, VI বিজারিত হইয়া থাকে। অর্থাৎ প্লুটোনিয়ামের অ্যাসিড জলীয় দ্রবণে চারটি জারণস্তরের (III, IV, V, VI) সহাবস্থানে থাকে।

আর্দ্রবিচ্ছেদ ও জটিল আয়ন গঠন ঘনিষ্ঠভাবে সংশ্লিষ্ট। M<sup>4+</sup> আয়নগুলির সর্বাধিক আর্দ্রবিচ্ছেদের প্রবণতা আছে। প্লুটোনিয়াম-IV আয়ন আর্দ্রবিচ্ছেদিত হইয়া বহুযৌগ পরাধর্মী আয়নে পরিণত হয় বাহার আণবিক গুরুত্ব = 10<sup>10</sup>। আর্দ্রবিচ্ছেদ বা জটিল আয়ন গঠনের মাত্রার ক্রম এইরূপ :



ইহা বস্তুতঃ নির্ভর করে আয়নীয় আধান ও ব্যাসার্ধের উপর।

জটিল আয়ন গঠনে অপরাধর্মী আয়নদের ক্রম হইল :





ল্যান্থানাইড আয়নদের তুলনায় অ্যাক্টিনাইড আয়নদের জটিল আয়নের স্থায়িত্ব বেশী। জৈব বিকারকের সঙ্গে অ্যাক্টিনাইড আয়নের বিক্রিয়া বিশেষভাবে উদ্বেগজনক। বিশেষতঃ ইহার কার্যকারিতা প্লুটোনিয়াম উৎপাদনে প্রমাণিত হইয়াছে। ট্রাইবুটাইল ফস্ফেটের (TBP) কেরোসিন দ্রবণ প্লুটোনিয়াম নিষ্কাশনে ও পৃথকীকরণে অতি প্রয়োজনীয় (সম্পূর্ণ পরিচ্ছেদ)।

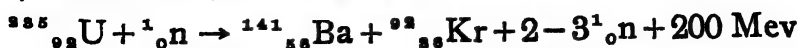
## ৯। ব্যবহারিক প্রয়োগ ( Practical application )

ইউরেনিয়ামোক্তর মৌলশ্রেণীর অনুসন্ধান যদিও মৌলিক গবেষণার বিষয়বস্তু ছিল, কিন্তু ইহাদের আবিষ্কার মৌলিক গবেষণাগারের সীমানা অতিক্রম করিয়া মানবসভ্যতার ইতিহাসে এক নূতন যুগের সূচনা করিল— পরমাণু যুগ (Atomic/Nuclear age)। যুদ্ধকালীন আবিষ্কারের জন্য অবশ্য ইহার সর্বপ্রথম প্রয়োগ ছিল মারণাস্ত্রক অস্ত্র নির্মাণের জন্য।

দ্বিতীয় মহাযুদ্ধের সময়ে প্রথমে প্রকৃতিজ ইউরেনিয়াম-238 হইতে ইহার 235 আইসোটোপ পৃথকীকরণের প্রচেষ্টা চলিয়াছিল, যেহেতু ইউরেনিয়াম-235 এর বিখণ্ডন প্রবণতা (fissionability) অনেক বেশী। প্লুটোনিয়াম-239 আবিষ্কারের পর দেখা গেল যে, ইহার উৎকর্ষতা ইউরেনিয়াম-235 এর চেয়ে বেশী। প্রকৃতিজ ইউরেনিয়াম-238 হইতে মন্থরগতি (slow) নিউট্রনের সংঘাতে প্লুটোনিয়াম-238 উৎপন্ন করা সম্ভব ( সপ্তম পরিচ্ছেদ )।

ইউরেনিয়াম আইসোটোপ পৃথকীকরণ এক দুরূহ প্রযুক্তির ব্যাপার ছিল। বারবারী ইউরেনিয়াম হেক্সাফ্লুরোরাইড (UF<sub>6</sub>) আংশিক উর্ধ্বপাতন পদ্ধতি অনুসৃত হইয়াছিল। কিন্তু ইউরেনিয়াম-প্লুটোনিয়াম পৃথকীকরণ অপেক্ষাকৃত সহজসাধ্য রাসায়নিক প্রক্রিয়া দ্বারা সাধিত হইয়াছিল ( সপ্তম পরিচ্ছেদ )। ঐসার পদ্ধতিতল্ল গবেষণার তথ্যগুলি হইতে বিরাট কারিগরী শিল্পের অভ্যুদয় হইল। প্লুটোনিয়াম উৎপাদনের প্রথম কারখানা নির্মিত হইয়াছিল ওয়াশিংটনের হ্যানফোর্ডে (Hanford engineering works)। এইখানে প্রথমে বিসমাখ ফস্ফেট পদ্ধতি প্রয়োগ করা হইয়াছিল ( সপ্তম পরিচ্ছেদ )।

পরমাণু বিখণ্ডনে উৎপাদিত পদার্থগুলির ওজন ইউরেনিয়াম ও আক্রমণকারী নিউট্রনের ওজনের চেয়ে কম। এই হ্রাসপ্রাপ্ত ভরের জন্য আইনস্টাইন সূত্র অনুযায়ী (E = mc<sup>2</sup>) শক্তি উৎপন্ন হয়।



প্রত্যেক ইউরেনিয়াম কেন্দ্রিক হইতে 200 Mev শক্তি (বিশ কোটি ইলেকট্রন ভোল্ট) উৎসারিত হয়। অর্থাৎ 1 গ্রাম ইউরেনিয়াম-235 বিখণ্ডনের ফলে  $2 \times 10^7$  কিলো-ক্যালোরি তাপশক্তি উৎপন্ন হয়। এই তাপ  $10^{-6}$  সেকেন্ডের মধ্যে উদ্ভূত হয়, তাই প্রচণ্ড বিস্ফোরণ ঘটে এবং তাপ-মাত্রা এক কোটি ডিগ্রী হইতে পারে। এইভাবে পরমাণু বোমার বিস্ফোরণ ঘটে। 1 কিলোগ্রাম ইউরেনিয়াম-235 এর বিস্ফোরক শক্তি প্রায় 18,700 টন—প্রচণ্ড বিস্ফোরক ট্রাই-নাইট্রো-টলিন (trinitrotoluene, TNT) এর সমকক্ষ। পঞ্চাঙ্গরে শৃংখল অভিক্রিয়া (chain reaction) নিয়ন্ত্রিত করিতে পারিলে 1 কিলোগ্রাম ইউরেনিয়াম হইতে 26 লক্ষ কিলোগ্রাম কয়লার তাপশক্তি আহরণ করা যায় এবং 2 কোটি কিলোওয়াট-ঘণ্টা (Kilowatt-hours) বিদ্যুৎ শক্তি উৎসারিত হয়। পরমাণু শক্তির এই দুই বিরাট দিক—ধ্বংসাত্মক ও শান্তিপূর্ণ নিম্নে আলোচিত হইল।

### ৯.১ পারমাণবিক বিস্ফোরণ—অনিয়ন্ত্রিত শৃংখল অভিক্রিয়া (Uncontrolled or runaway chain reaction)

প্রথম পারমাণবিক বিস্ফোরণ সংঘটিত হইয়াছিল 1945 সালে 16 জুলাই তারিখে আমেরিকা যুক্তরাষ্ট্রের নিউ মেক্সিকোর অ্যালামোগোরডোর মরুভূমি প্রান্তরে। ইহা একটি পরীক্ষামূলক বিস্ফোরণ—যুদ্ধকালীন গোপনতার জন্য ইহা প্রচারিত হয় নাই। প্রকাশ্য বিস্ফোরণ ঘটিল একমাস পরে অগস্ট মাসে জাপানের হিরোসিমা ও নাগাসাকি শহরে। পারমাণবিক বিস্ফোরণের তাণ্ডবলীলার সারা পৃথিবী শিহরিয়া উঠিল; মহাযুদ্ধের গতি শুরু হইল।

পারমাণবিক বিস্ফোরণের মূল সর্ত হইল উচ্চশক্তিসম্পন্ন ও ক্ষিপ্ৰগতি নিউট্রনের প্রজনন যাহাতে শৃংখল অভিক্রিয়া অত্যন্ত দ্রুতগতিতে অগ্রসর হইতে পারে। নিউট্রন গ্লথ বা মন্থরগতি হইলে শৃংখল অভিক্রিয়া নিয়ন্ত্রণাধীন থাকে—ইহা পরমাণু-চুল্লীর নীতি।

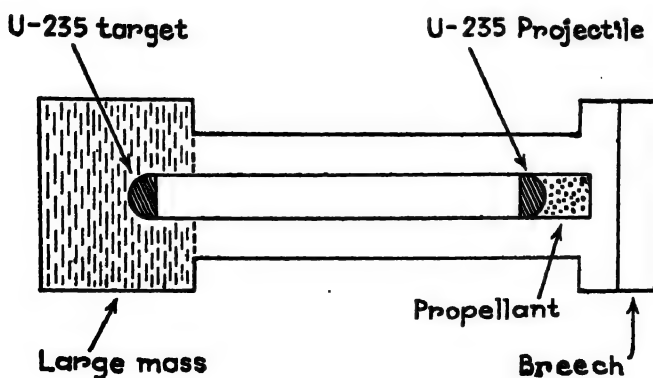
নিউট্রনের জনন-গুণিতক (Reproduction factor),

$$K = \frac{n\text{-তম চক্রে নিউট্রনের সংখ্যা}}{(n-1)\text{-তম চক্রে নিউট্রনের সংখ্যা}}$$

K-এর মান  $> 1$  হইলে পারমাণবিক বিস্ফোরণ এবং  $K = 1$  হইলে নিয়ন্ত্রিত শৃংখল অভিক্রিয়া ঘটে (নিউট্রনের সাম্যাবস্থা)।

ইউরেনিয়াম বা প্লুটোনিয়ামের ওজন ও আয়তনের উপর কেন্দ্রিক বিখণ্ডনের দক্ষতা নির্ভর করে। যদি প্লুটোনিয়ামের পরিমাণ অল্প হয় অর্থাৎ ইহার উপরিতলের ক্ষেত্রফল ও আয়তনের অনুপাত বেশী হয়, নিউট্রনের পলায়ন-জনিত সংখ্যা ও বিখণ্ডনজাত নিউট্রনের সংখ্যার অনুপাত সমানুপাতিক ভাবে এত বেশী হইবে যে শৃংখল অভিক্রিয়া পরিচালনার জন্য যথেষ্ট নিউট্রন থাকিবে না এবং ফলে শৃংখল অভিক্রিয়া ক্ষুণ্ণ হইবে আর বিস্ফোরণ ঘটিবে না। পক্ষান্তরে প্লুটোনিয়াম-239 (অথবা ইউরেনিয়াম-235 বা -233) এর আকার বর্ধিত করিলে সিস্টেম (system) হইতে নিউট্রনের আপেক্ষিক ক্ষয় কমিবে এবং এমন একটি অবস্থার উপনীত হইবে যখন শৃংখল অভিক্রিয়া সূচু ভাবে চলিবে। এই অবস্থার জন্য যে ভরের প্রয়োজন তাহা প্লুটোনিয়াম অথবা ইউরেনিয়ামের ক্রান্তিক ভর (critical mass) নামে অভিহিত। এই “ক্রান্তিক ভরের” অধিক ভর (super-critical) হইলে বিস্ফোরণ ঘটিবে এবং কম (sub-critical) হইলে কোনও বিস্ফোরণ হইবে না। “ক্রান্তিক ভর” নির্ভর করে কয়েকটি সর্বের উপর—যথা, বস্তুর আকার (shape), গঠন (composition) এবং অপদ্রব্যের উপস্থিতি (impurity) যাহা নিউট্রন শোষণ করিতে পারে। পারমাণবিক জ্বালানীকে (nuclear fuel) উপযুক্ত নিউট্রন প্রাতিফলক দ্বারা আবৃত করিলে নিউট্রন ক্ষয়ের সম্ভাবনা রোধ করা যাইবে এবং ক্রান্তিক ভরের পরিমাণ হ্রাস পাইবে।

পারমাণবিক বিস্ফোরণ দুইটি পদ্ধতিতে সংঘটিত হয়। (1) উনক্রান্তিক ভর বিশিষ্ট (sub-critical mass) দুই খণ্ড অর্ধাবৃত্তাকার বা গোলাধ

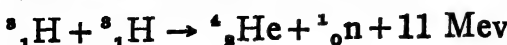
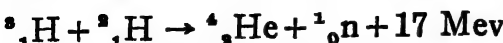
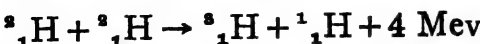


চিত্র 9.1 : পরমাণু বোমার সম্ভাব্য আভ্যন্তরীণ সমাবেশ।

আকারের পারমাণবিক জ্বালানীকে পৃথকভাবে চিত্র 9.1 অনুযায়ী রাখা হয়। একটি গোলাধারী ভারী উপকরণের মধ্যে নিহিত—ইহা বন্দুকের নলের লক্ষ্য-প্রান্ত (target end)। অন্য গোলাধারী ক্ষেপণকারী (projectile) অংশ বাহ্যে লক্ষ্যপ্রান্ত বিদ্ধ করিতে সক্ষম। কোনও শক্তিশালী রাসায়নিক বিস্ফোরকের সাহায্যে ক্ষেপণকারী অংশটিকে  $10^{-8}$  সেকেন্ডের কম সময়ের মধ্যে লক্ষ্যপ্রান্ত গোলাধারে আঘাত করা হয়। তখন “অতিক্রান্তিক ভর” (over-critical mass) সৃষ্ট হয় এবং তৎক্ষণাৎ প্রচণ্ড বিস্ফোরণ ঘটে। (2) উন-ক্রান্তিক ভরের জ্বালানীকে (ইউরেনিয়াম/প্লুটোনিয়াম) সজোরে চাপ দেওয়া হয়। ইহাতে জ্বালানী বস্তুর ঘনত্ব বৃদ্ধি পায়; উপরিতলের আয়তন কম হওয়ার নিউট্রন প্রজননের সংখ্যা দ্রুত হারে বর্ধিত হয় এবং বিস্ফোরণ ঘটে।

জাপানের হিরোসিমা ও নাগাসাকি শহরে যে দুইটি পারমাণবিক বোমা (প্লুটোনিয়াম) বিস্ফোরণ হইয়াছিল (6 অগস্ট, 1945 সাল) তাহার বিস্তৃত বিবরণ সারা পৃথিবীতে বিভীষিকার করাল ছায়ার সঞ্চার করিয়াছিল। হিরোসিমা শহরের 4'5 বর্গ-মাইল এলাকা সম্পূর্ণ ধূলিসাৎ হইল। 2-3 মাইলের মধ্যে সমস্ত অগ্নিদগ্ধ হইয়া ভস্মের স্তূপে পরিণত হইল। ফুটন্ত ধূলারাশি 20,000 ফুট এবং ছত্রাকের আকারে ধূসর মেঘপুঞ্জ 40,000 ফুট উচ্চে উল্লম্বিত হইয়াছিল নিমেষের মধ্যে। জনসংখ্যার দুই-তৃতীয়াংশ অর্থাৎ প্রায় তিন লক্ষ অধিবাসী নিহত হইল। এই সমস্ত ঘটনা এক সেকেন্ডের মধ্যে সম্পূর্ণ হইল। এই শহর-দুইটির আশেপাশের এলাকার দুই পুরুষের অধিক শিশু ও নর-নারী বিস্ফোরণ-উপজাত তেজস্ক্রিয় ভস্মরাশির (Radioactive Fallout) কবলে আক্রান্ত ও বিধ্বস্ত হইল।

প্লুটোনিয়াম-বোমার চেয়ে প্রলয়ঙ্কর বোমা উদ্ভাবিত হইয়াছে—হাইড্রোজেন বোমা। ইহার বিক্রিয়া পারমাণবিক বিখণ্ডনের বিপরীত নীতি অর্থাৎ পরমাণু সান্মিলনের (fusion) উপর প্রতিষ্ঠিত। দুই লঘু কেন্দ্রক—যথা, হাইড্রোজেনের ভারী কেন্দ্রক উচ্চ তাপে (প্রায় 10 কোটি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড) একত্র যুক্ত হইয়া প্রচণ্ড শক্তি উৎপন্ন করে।



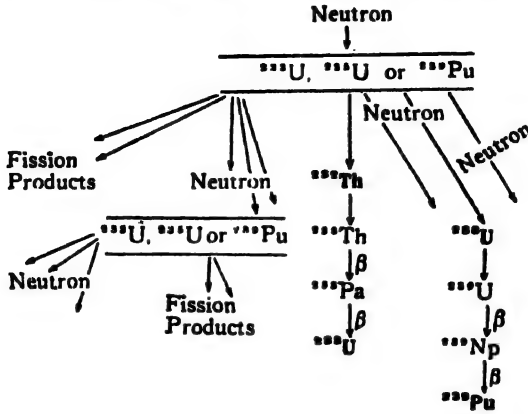
পারমাণবিক বিখণ্ডনের সাহায্যে প্রথমে উচ্চতাপের সৃষ্টি করা হয়। পরের পর্বায়ে হাইড্রোজেন পরমাণু সম্মিলন অনুষ্ঠিত হয়। কাজেই পারমাণবিক বিখণ্ডন প্রক্রিয়া দ্বারা হাইড্রোজেন বোমা বিস্ফোরণ উৎপাদন হয়। তাই মারণাস্ত্রক অস্ত্র হিসাবে ইহা প্লুটোনিয়াম বোমার চেয়ে অনেক বেশী শক্তিশালী।

## ৯.২ পারমাণবিক বা কেন্দ্রিক শক্তির (Nuclear power) উৎপাদন—নিয়ন্ত্রিত শৃঙ্খল অভিক্রিয়া (Controlled chain reaction)

শৃঙ্খল অভিক্রিয়া সংঘত বা নিয়ন্ত্রিত করিবার মূল মন্ত্র :  $K=1$  (৯.১ দ্রষ্টব্য)। পারমাণবিক বিখণ্ডনজাত তাপশক্তি নিষ্কাশিত করা যায় উপযুক্ত তাপ-পরিবাহী তরল পদার্থ দ্বারা—ইহাতে বাষ্প উৎপন্ন হয় এবং পরে টারবাইনের দ্বারা বিদ্যুৎশক্তিতে রূপান্তরিত করা যায়। ইহাই পরমাণু বিদ্যুৎচুল্লী (Power reactor) নির্মাণের মূল নীতি—উক্ত চুল্লী হইতে কয়েক কোটি ওয়াট বিদ্যুৎশক্তি নিরবচ্ছিন্নভাবে সরবরাহ করা যাইতে পারে। শৃঙ্খল অভিক্রিয়া সংঘত করিবার জন্য প্রয়োজন নিউট্রন শোষণকারী ক্যাডমিয়াম দণ্ড (Control rod)। আবার, বিখণ্ডনজাত নিউট্রনের গতির তীব্রতা মন্দীভূত করার জন্য পরিমিতকারী বস্তু (Moderator) ব্যবহৃত হয় ; যথা, সাধারণ জল, ভারী জল (Heavy water,  $D_2O$ ), বেরিলিয়াম, গ্রাফাইট ইত্যাদি। শেষোক্ত বস্তুর অহিত সংঘর্ষে, ক্ষিপ্ৰগতি নিউট্রন মন্থরগতি বা থার্মাল (Thermal) নিউট্রনে পরিণত হয়। ইহাতে শৃঙ্খল অভিক্রিয়া সৃষ্টিভাবে পরিচালিত হয়।

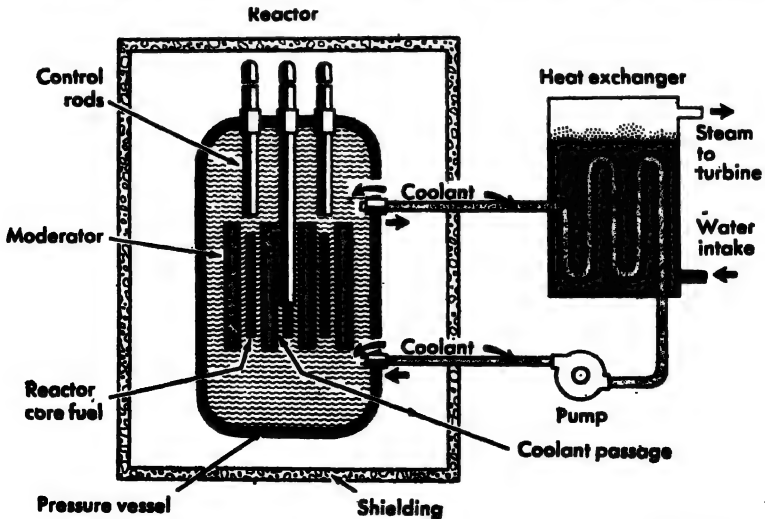
পরমাণু-চুল্লীর প্রধান উপকরণ পারমাণবিক জ্বালানী (Nuclear fuel), পরিমিতকারী বস্তু (Moderator) এবং নিয়ন্ত্রক দণ্ড (Control rod)। জ্বালানী হিসাবে প্লুটোনিয়াম-239, ইউরেনিয়াম-235 ও -233 ব্যবহৃত হইয়া থাকে। ইউরেনিয়ামের প্রাকৃতিক আকারকে ইউরেনিয়াম-238 (99.3%) এবং ইউরেনিয়াম-235 (0.7%) থাকে। সাধারণ পরমাণু-চুল্লীতে ইউরেনিয়াম-235-গাঢ়ীকৃত (enriched) প্রকৃতিজ ইউরেনিয়াম-238 ব্যবহার করা হয়। আবার, প্লুটোনিয়াম-239 ও ইউরেনিয়াম-233 প্রস্তুত করা হয় যথাক্রমে ইউরেনিয়াম-238 ও থোরিয়াম-232 হইতে। যে বিশেষ পরমাণু-চুল্লীতে একাধারে পারমাণবিক বিখণ্ডন এবং নূতন জ্বালানী উৎপাদন

করা হয়, তাহাকে “প্রজনন-চুল্লী” (Breeder reactor) অভিহিত করা হয়। নিচের প্রবাহচিত্রে প্রজনন-চুল্লীর কার্যপদ্ধতি ব্যাখ্যা করা হইল।



পরমাণুচুল্লীর তাপ নিষ্কাশনের জন্য প্রয়োজন বিশেষ তাপ পরিবাহী তরল পদার্থ—যেমন, সাধারণ জল, ভারী জল, গলিত ধাতু (সোডিয়াম, বা নাইট্রোজেন গ্যাস, ইত্যাদি)। একটি পরমাণুবিদ্যুৎচুল্লীর চিত্র (9.2) দেওয়া হইল।

পরমাণুচুল্লীর অন্তঃপুরের উপকরণগুলি উচ্চতাপ ও তেজস্ক্রিয় বিকিরণের



চিত্র 9.2 : একটি পরমাণু-বিদ্যুৎচুল্লীর (Power Reactor) চিত্র।

প্রভাবাধীন থাকে। তাই এই উপকরণগুলির নির্বাচন অত্যন্ত কঠোর সর্তসাপেক্ষ। ইহাদের কম নিউট্রন শোষণ ক্ষমতা, উচ্চ গলনাঙ্ক, অধিক তাপ-পরিবাহিতা, তেজস্ক্রিয়তা ও অবক্ষয়তা (corrosion)-প্রতিরোধশক্তি ইত্যাদি থাকা চাই। অন্যদিকে, ইহাদের সহজেই কারিগরী কাজের উপযোগী আকারে রূপান্তর করা যাইবে—ইহাও একটি অতিপ্রয়োজনীয় সর্ত। এই সর্ত পালন করে কয়েকটি বিশেষ ধাতু বা তাহাদের সঙ্কর (alloy)। ধাতুদের মধ্যে উল্লেখযোগ্য—জারকনিয়াম (গলনাঙ্ক  $1900^{\circ}\text{C}$ ), নায়োবিয়াম (গলনাঙ্ক  $1950^{\circ}\text{C}$ ), লোহা (গলনাঙ্ক  $1535^{\circ}\text{C}$ ), মলিবডেনাম (গলনাঙ্ক  $2620^{\circ}\text{C}$ ), ক্রোমিয়াম (গলনাঙ্ক  $1083^{\circ}\text{C}$ ) এবং টাইটানিয়াম (গলনাঙ্ক  $1800^{\circ}\text{C}$ )।

বর্তমান মানবসভ্যতার শক্তির চাহিদা দ্রুতহারে বৃদ্ধি পাইতেছে। বর্তমানের শক্তির উৎস—কয়লা, পেট্রোলিয়াম ও প্রাকৃতিক গ্যাস—আগামী 100 বছরে নিঃশেষ হইতে পারে। তখন শক্তির চাহিদা মিটাইবে পরমাণুশক্তি বাহা কয়েক হাজার বছর মানবসভ্যতার চক্র সূচুভাবে আবর্তন করিবে। তারপর সমৃদ্ধ ও মহাসমৃদ্ধ হইতে আহৃত ভারী হাইড্রোজেন ( $^3\text{H}$ ) অনন্তশক্তির উৎস হিসাবে ব্যবহৃত হইবে, পরমাণুসংশ্লিষ্ট প্রক্রিয়ার সাহায্যে।

যেখানে চিরাচরিত জীবাশ্ম-জ্বালানী (fossil fuel) কয়লা যথেষ্ট পরিমাণে পাওয়া যায়, সেইসব অঞ্চলে পরমাণুশক্তির অধিক প্রচলন হইবে না। কিন্তু দূরদূরান্ত জনবসতি-বিরল অঞ্চলে—যথা, সুমেরু বা কুমেরু প্রদেশে পরমাণুশক্তি সম্যক কার্যকরী হইবে। ডুবোজাহাজ, বাণিজ্য-জাহাজ ইত্যাদি পরমাণুশক্তি চালিত হইলে দীর্ঘকাল কার্যকরী থাকিবে। তাছাড়া মহাকাশযানে, যোগাযোগকারী উপগ্রহ ইত্যাদিতে পরমাণুশক্তির বহুল প্রচলন হইবে।

ইউরেনিয়ামোসুর মৌলশ্রেণীর ব্যবহারিক প্রয়োগের চমৎকারিত্ব এইখানেই সীমাবদ্ধ নয়। প্লুটোনিয়াম-238, কুরিয়াম-242, কুরিয়াম-244 গাড়ীভূত শক্তির উৎস হিসাবে জনপ্রিয়তা অর্জন করিবে। এই মৌলগুলি হইতে উচ্চশক্তিসম্পন্ন আলফা-কণা নিঃসৃত হয়। উপযুক্ত আধারে এই মৌলগুলির মাত্র কয়েক গ্রাম আবদ্ধ থাকিলে প্রচুর তাপশক্তির সৃষ্টি করে বাহা হইতে তাপীয় বিদ্যুতিন প্রক্রিয়ার (thermionic device) সাহায্যে বিদ্যুৎশক্তি উৎপাদন করা সম্ভব। এইভাবে ক্ষুদ্র আধারে প্লুটোনিয়াম-238 ট্রানজিট (Transit) কৃত্রিম উপগ্রহে ব্যবহৃত হইয়াছে। ক্যালিফোর্নিয়াম-252



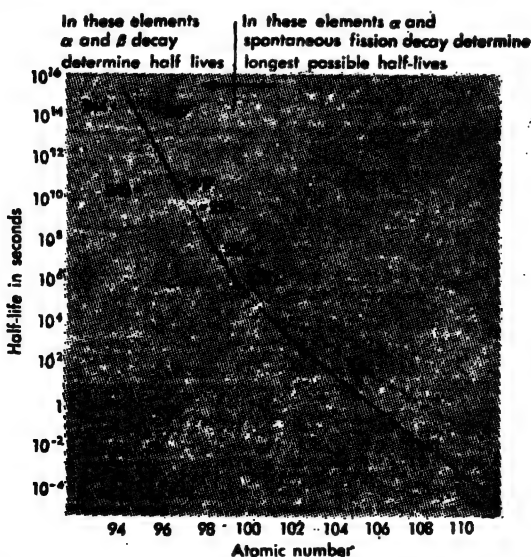
গাঢ়ীভূত নিউট্রনের উৎস হিসাবে ব্যবহৃত হয়। এই ধরনের আইসোটোপ স্বতঃস্ফূর্ত বিখণ্ডনের (spontaneous fission) ফলে প্রচুর নিউট্রন সৃষ্টি করে। এইগুলিকে সুবহ নিউট্রন উৎস হিসাবে নানাবিধ কাজে প্রয়োগ করা যায়।

পরমাণু-চুল্লী হইতে উদ্ভূত নিউট্রনের প্রবাহে অজস্র তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ উৎপাদন করা যায়। ইহাদের বহুমুখী প্রয়োগ পূর্বেই আলোচিত হইয়াছে (দ্বিতীয় পরিচ্ছেদ)।

## ১০। ভাবী ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলগুলি (The Future Trans-uranium Elements)

মৌল 103, লরেন্সিয়ামের পরবর্তী মৌলগুলি সম্বন্ধে বিজ্ঞানীরা নানা জল্পনা-কল্পনা করিতেছেন। পর্যায়-সারণীর প্রসার কতদূর হইতে পারে, সীমারেখা কোন্ প্রান্তে থামিতে পারে ইত্যাদি বিষয়ে নানা তাত্ত্বিক গবেষণা হইয়াছে এবং এখনও চলিতেছে। কয়েক বছর আগে রাশিয়ান বিজ্ঞানীরা মৌল 104 ঘোষণা করিয়াছিলেন কুরচাটোভিয়াম (Kurchatovium) নামে। ইহা প্রস্তুত করা হইয়াছিল কার্বন আয়ন দ্বারা ক্যালিফোর্নিয়ামকে আক্রান্ত করিয়া। কিন্তু পরবর্তী পরীক্ষায় ইহা সমর্থিত হয় নাই।

ভারী ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলগুলির অর্ধায়ুস্ফাল পরমাণু-ক্রমাঙ্ক বৃদ্ধির সঙ্গে



চিত্র 10.1 : মৌল 94—110 এর অর্ধায়ুস্ফালের চিত্রলেখ।

অত্যন্ত দ্রুত হারে হ্রাস পাইতে থাকে (চিত্র 10.1)। চিত্রটি হইতে স্পষ্ট দেখা যায় যে, মৌল 110 এর অর্ধায়ুস্ফাল  $10^{-6}$  সেকেন্ড হইবে। এইখানেই

অত্যন্ত ভারী মৌলগুলির রূপদানের প্রধান অন্তরায়। ইহাদের সঠিক সংখ্যা ভবিষ্যৎবাণী করাও সহজসাধ্য নয়। যে মৌলের কেন্দ্রকে অযুগ্ম (odd) প্রোটন বা নিউট্রন থাকে, তাহাদের অর্ধায়ুস্ফাল দীর্ঘ হইবে এবং তাহাদের আবিষ্কারের পথ সুগম হইতে পারে। ইউরেনিয়ামোত্তর মৌলগুলির আবিষ্কারের পদ্ধতি ভারী মৌলগুলির ক্ষেত্রে পরিবর্তিত করা হইয়াছিল। দৃষ্টান্তরূপ, লরেন্সিসরামের ক্ষেত্রে প্রতিক্বেপণ প্রতিক্রিয়া (Recoil technique) কার্যকরী হইয়াছিল। পরবর্তী মৌলগুলির ক্ষেত্রেও ইহা প্রযোজ্য হওয়া উচিত। বার্কলের বিজ্ঞানীরা এই পথ অনুসরণ করিতেছেন।

মৌল 103 এর পরবর্তী মৌলগুলি উৎপাদনের জন্য ভারী আয়নকে ক্ষেপণক (projectile) হিসাবে ব্যবহার করা প্রয়োজন। বিশেষ অ্যাক্সিলারেটর (Heavy Ion Linear Accelerator, HILAC) এর সাহায্যে হিলিয়াম হইতে নিওন পর্যন্ত ভারী আয়ন ক্ষেপণক হিসাবে ব্যবহৃত হইতেছে বার্কলেতে (1958 সাল হইতে)। রাশিয়াতেও একই প্রচেষ্টা চলিতেছে। লক্ষ্য বস্তু (target) যথেষ্ট পরিমাণে প্রস্তুত করার সমস্যা খুবই উৎকট। পক্ষান্তরে মৌল উৎপাদনের পরিমাণ বৃদ্ধি করার জন্য ভারী আয়নের ত্রুমাঙ্ক কম হওয়া প্রয়োজন। অর্থাৎ মৌল 106 উৎপাদন বৃদ্ধির জন্য ক্ষেপণক হিসাবে নিওন (ত্রুমাঙ্ক 10) এর অপেক্ষা নাইট্রোজেন আয়ন (ত্রুমাঙ্ক 7) অধিকতর বাঞ্ছনীয়।



মৌল 104 (Y) ও 105 (Z) উৎপাদনের সম্ভাব্য বিক্রিয়া এইরূপ :



অত্যন্ত ভারী কেন্দ্রক, যেমন মৌল 137, প্রস্তুত করার জন্য প্রয়োজন অত্যন্ত উচ্চ নিউট্রন প্রবাহ (  $10^{20}$  নিউট্রন প্রতি বর্গ-সে.মিটারে প্রতি সেকেন্ডে ) বাহা পাওয়া সম্ভব একমাত্র নক্ষত্রমণ্ডলে। পৃথিবীতে এই পরিমাণ নিউট্রন-প্রবাহ উৎপন্ন করা দুষ্কর। এখনও পর্যন্ত পরমাণু-চুল্লীর সর্বোচ্চ নিউট্রন প্রবাহের মাত্রা  $10^{16}$  নিউট্রন প্রতি বর্গ-সে.মিটারে প্রতি সেকেন্ডে।

সম্প্রতি (29 জুন, 1976) নোবেল পুরস্কার বিজয়ী অধ্যাপক ডাইর্যাক (Paul Dirac) ঘোষণা করিয়াছেন—মৌল 116, 124 ও 126 এর

আবিষ্কার। তাঁহার সহকর্মী জেন্ট্রি (R. V. Gentry) ও কাহিল (T. A. Cahill) ফ্লোরিডার গবেষণাগারে প্রাকৃতিক আকরিক হইতে উক্ত মৌলগুলি আবিষ্কার করিয়াছেন—অর্ধায়ুস্ফাল 50 কোটি বছর ( $5 \times 10^9$  বছর)। বিশদ বিবরণ এখনও প্রকাশিত হয় নাই।

লরেন্সিয়ামের পরবর্তী মৌলগুলির পর্যায়-সারণীতে স্থান, চিত্র 10.2-তে প্রদর্শিত হইয়াছে। রাসায়নিক ধর্মের ভবিষ্যদ্বাণীর ভিত্তিতে এই স্থান নির্ধারিত হইয়াছে। এই চিত্রে দেখা যায়, সপ্তম পর্যায়ে (period) মৌল 104-এর

চিত্র 10.2 : বর্তমান পর্যায়-সারণীতে মৌল 104—108-এর স্থান।

স্থান হইবে হ্যাফ্‌নিয়ামের নিচে (চতুর্থ শ্রেণী, group IV), 105 এর স্থান ট্যাংটালামের নিচে (পঞ্চম শ্রেণী), 106 এর স্থান টাংস্টেনের নিচে (ষষ্ঠ শ্রেণী), ইত্যাদি। মৌল 104 হইতে 6d অনুস্তরে ইলেকট্রনের যোগদান চলিবে এবং ইহা সম্পূর্ণ হইবে মৌল 112 তে। মৌল 113 হইতে 7p অনুস্তরে ইলেকট্রন যোগদান শুরু হইবে এবং সমাপ্ত হইবে নিষ্ক্রিয় গ্যাস 118 তে। পর্যায়-সারণীর এই অবস্থান অনুযায়ী জলীয় দ্রবণে মৌল 104 এর চতুর্থ জারণস্তর (হ্যাফ্‌নিয়ামের অনুরূপ), 105 এর পঞ্চম জারণস্তর (ট্যাংটালামের অনুরূপ) এবং 106 এর (টাংস্টেনের অনুরূপ) ষষ্ঠ জারণস্তর থাকিবে।

পৃথিবীর প্রেষ্ঠ গবেষণাগারগুলিতে উক্ত মৌলগুলির অনুসন্ধান এখনও চলিতেছে। ইহাদের আবিষ্কার ও সনাক্তকরণে যে দৃষ্টের বাধা স্বাভাবিকভাবেই আছে, সেইগুলি হয়তো বিজ্ঞানীদের অক্লান্ত সাধনার ফলে অতিক্রান্ত হইবে অদূর

ভবিষ্যতে। পর্যায়-সারণীর শেষ সীমা কোথায় এই প্রশ্নের উত্তর আশা করা যায় আগামী কয়েক বছরের মধ্যেই মিলিবে।

**প্রাসঙ্গিক গ্রন্থ, প্রবন্ধাদি (পরিচ্ছেদ ৫—১০):**

1. G. T. Seaborg—"Man-made Trans-uranium Elements", Prentice Hall, Englewood Cliffs, N. J. (1963)

2. G. T. Seaborg—"The Trans-uranium Elements", Smithsonian Report, 247 (1960)

3. R. M. Latimer—Science Teacher, 28, No 7, (1961)

4. G. T. Seaborg—Journal of Chemical Education, 36, 38 (1959)

5. F. G. Werner and J. A. Wheeler—Physics Review, 109, 126 (1958)

6. B. B. Cunningham—Microchemical Journal, 69 (1961)

7. B. B. Cunningham—Journal of Chemical Education, 36, 31 (1959)

8. F. A. Cotton and G. Wilkinson—"Advanced Inorganic Chemistry", 2nd ed., Wiley, N. Y. (1966)

## বর্ণানুক্রমিক সূচী

- অভিউন রসায়ন-প্রণালী, 76  
 অধীক্ষাল, 11, 109—111  
 অক্সালীনী, 26  
 আইনষ্টাইন, 4, 67  
 আইনষ্টাইনিয়াম, 67  
 আইরিন্ কুরী, 10, 55  
 আইলোটোপ, 50  
     — লঘুকরণ পদ্ধতি, 18  
 আলফা রশ্মি ( কণা ), 11, 50  
 আলোক-সক্রিয়, 16  
 আলোক-নিষ্ক্রিয়, 16  
 আয়ন-বিনিময় প্রক্রিয়া, 80  
     — প্রযুক্তি, 84—88  
     — রজন, 84—88  
 আন্ট্রিকো ফোর্মি, 56  
 আপেক্ষিক প্রাচুর্য, 2-3  
 আমেরিকিয়াম, 63-64  
 অ্যান্টিনাইড্ মৌলশ্রেণী, 91, 93—100  
     — সংকোচন, 95  
     — আয়ন, 97  
     — ইলেকট্রন-বিজ্ঞান, 92—94  
     — প্রমাণ বিজ্ঞান বিভব, 98-99  
 অ্যান্টিলারেটর, 10  
 অ্যাটাটাইন, 45-46  
 অ্যাবেলসন, 60  
 অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা, 52  
 ইউরেনিয়াম, 1, 51, 56, 92—100,  
     101—108  
     — শ্রেণী, 7  
 ইউরেনিয়ামোস্টর মৌলশ্রেণী,  
     55—101, 109—112  
 ইলেকট্রন, 49  
     — বিজ্ঞান, 92—94  
 উইলার্ড লিবি, 21  
 উদ্ভূত সক্রিয়তা বিশ্লেষণ, 19  
 উক্সাপিও, 7  
 উপরিতলের রসায়ন, 12  
 ওয়াল, 61  
 ওয়ালম্যান, 66  
 ওয়ালডেন্ বিবর্তন, 16  
 ওয়ার্নার, 64, 76  
 কক্সা মৌল, 71  
 কার্বন-নাইট্রোজেন চক্র, 4  
 কানিংহাম, 64, 66, 76  
 করিয়েল, 44  
 কেন্দ্রক, 48  
 কেন্দ্রক-বিক্রিয়া, 3, 9, 50  
 কেন্দ্রক ক্ষেপণক, 10, 110  
 কুরী, 110  
 কুরিয়াম, 63-64, 86-87, 92-93  
 কেটেল, 44  
 কাহিল, 111

ক্রান্তিক ভর, 103

ক্যালিকোনিরাম, 65-66, 72, 86-87,  
92-94, 110

গামা রশ্মি, 11, 50

গেণেটিন, 44

গিওব্রসো, 72

জলবিভাজন, 12, 99

জর্জ গ্যামো, 3

জাগতিক, 2

জারণভর, 51, 79, 96

জোলিও কুরী দম্পতী, 10, 55

টেক্‌নিসিয়াম, 41-43

ট্রেনার-প্রযুক্তি, 12-26

(তেজস্ক্রিয় ট্রেনার-প্রযুক্তি)

ট্রাইবুটাইল ফস্‌ফেট পদ্ধতি, 81-82

টমল, 65

ডয়টারন রশ্মি, 61-63, 72

তাপকেন্দ্রক বিস্ফোরণ, 6

তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ, 9-40

তেজস্ক্রিয় কার্বন (তারিখ নির্ণয়), 21-22

তেজস্ক্রিয় ভস্মরাশি, 67, 104

তেজস্ক্রিয় মৌলশ্রেণী, 11

তেজস্ক্রিয়া, 11-12

তেজস্ক্রিয়ামিতি পদ্ধতি, 18

নিউট্রন, 49

নিউট্রিনো, 49

নিরুদ্ধেণ মৌল, 41-47

নেপচুনিয়াম, 59-61

নোবেলিয়াম, 70-71

নিরুদ্ধেণ ও ইউরেনিয়ামোক্ত মৌল

পজিট্রন, 49

পরমাণু চুল্লী, 10, 105-107

পরমাণু বোমা, 103-104

পরমাণু ভরসংখ্যা, 48

পর্যায়-সারণী, 1, 89-100

পরিভাষা, 48

পল ডাইর্যাক, 110

পারমাণবিক গুরুত্ব, 48

পারমাণবিক বিখণ্ডন, 51, 57

— উপজাত

আইসোটোপ, 78, 87

পারমাণবিক বিস্ফোরণ, 102-105

পার্লম্যান, 64

প্লুটোনিয়াম, 61-63

— উৎপাদন শিল্প, 77

প্রতিক্ষেপণ পদ্ধতি, 68-69

প্রোটন, 4, 49

প্রোটন-প্রোটন চক্র, 3

পেরে, 47

প্রমাণ বিজারণ বিভব, 98

পৃথকীকরণের পরীক্ষা, 17

প্রজনন-চুল্লী, 106

কেমিয়াম, 67, 69

ক্রাসিয়াম, 46-47

ক্রেড্‌ হব্‌ল, 3

বয়েড্‌, 44

বার্কেলিয়াম, 65

বাহক আইসোটোপ, 76

ব্যাপন, 12

বিটা রশ্মি, 11, 49  
 বিটাইন, 10  
 বিনিময় বিক্রিয়া, 14  
 বিস্ফোৰ কক্ষপট পদ্ধতি, 82-83  
 ভেদন ক্ষমতা, 11  
 মহাজাগতিক, 2  
 ম্যাক্সিমিলান, 59  
 ম্যারিন্‌স্কি, 44  
 মেণ্ডেলিভিয়াম্, 67—70  
 মেসন, 49  
 মৌল রূপান্তর প্রক্রিয়া, 9  
 রাডারফোর্ড, 4, 9  
 লরেন্স, 73  
 লরেন্সিয়াম্, 72-73  
 ল্যান্থানাম ফ্লুরাইড চক্র, 82-83

ল্যান্থানাইড মৌলশ্রেণী,  
 (গোষ্ঠী), 92—96  
 শৃংখল অভিক্রিয়া,  
 অনিয়ন্ত্রিত, 102—105  
 — নিয়ন্ত্রিত, 105—107  
 ছেন্নোন পদ্ধতি, 81  
 হেন্‌রি বেক্‌য়েল, 9  
 ছান্‌ড্রোস্‌ম্যান, 56  
 হাইল্যাক (HILAC), 89, 110  
 স্বতঃস্ফূর্ত বিখণ্ডন, 69-70, 108  
 সহায়ঃক্ষেপণ-বিক্রিয়া, 80  
 সম্মিলন বিক্রিয়া, 5, 82  
 সাইক্লোট্রন, 10  
 সিন্‌ক্লোট্রন, 10  
 সীবর্গ, 58, 61, 63, 65, 91  
 সেথে, 41-42









